ISSN 1880-0637

平成２５年度

生研センター研究報告会

平成２６年３月１３日

独立行政法人　農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農　業　機　械　化　研　究　所

平成２５年度 生研センター研究報告会開催次第

１．開催日時　　平成２６年３月１３日（木）

２．場　　所　　大宮ソニックシティ「小ホール」

（さいたま市大宮区桜木町 1-7-5　TEL：048-647-4111(代)）

３．スケジュール

１）開　　会　　10:00

２）挨　　拶　　10:00～10:10

（１）(独）農業・食品産業技術総合研究機構

（２）農林水産省

３）情勢報告　　10:10～10:40

（１）農林水産省 生産局

（２）農林水産省 農林水産技術会議事務局

４）生研センターの研究内容報告　　10:40～12:00

（１）基礎技術研究部

（２）生産システム研究部

（３）園芸工学研究部

（４）畜産工学研究部

（５）評価試験部

（６）特別研究チーム（エネルギー）

（７）特別研究チーム（ロボット）

（８）特別研究チーム（安全）

《　昼　食　》　　12:00～13:00

５）個別研究報告　　13:00～17:20

（１）第４次農業機械等緊急開発事業の成果

①ブームスプレーヤのブーム振動制御装置の開発

②ラッカセイ収穫機の開発

③イチゴパック詰めロボットの開発

④乗用型トラクターの片ブレーキ防止装置の開発

⑤自脱コンバインの手こぎ部の緊急即時停止装置の開発

《　休　憩　》　　14:40～14:55

（２）携帯型植物水分情報測定装置の開発

（３）籾摺機での玄米の放射性物質交差汚染に関する実態調査ならびに
籾を使ったとも洗いによる放射性物質交差汚染の低減効果

（４）イチゴの個別包装容器の開発

（５）農用トラクターの省エネルギー性能評価について

（６）穀物乾燥機の省エネルギー性能評価について

６）総合討議　　17:20～17:35

７）閉　　会　　17:35

目　　次

１．ブームスプレーヤのブーム振動制御装置の開発 ‥‥‥‥‥　1

２．ラッカセイ収穫機の開発 ‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥　11

３．イチゴパック詰めロボットの開発 ‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 19

４．乗用型トラクターの片ブレーキ防止装置の開発 ‥‥‥‥‥‥ 29

５．自脱コンバインの手こぎ部の緊急即時停止装置の開発 ‥‥‥ 41

６．携帯型植物水分情報測定装置の開発 ‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 53

７．籾摺機での玄米の放射性物質交差汚染の実態調査ならびに籾を使
ったとも洗いによる放射性物質交差汚染の低減効果 ‥‥‥‥ 63

８．イチゴの個別包装容器の開発 ‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 77

９．農用トラクターの省エネルギー性能評価について ‥‥‥‥‥ 85

１０．穀物乾燥機の省エネルギー性能評価について ‥‥‥‥‥‥ 95

ブームスプレーヤのブーム振動制御装置の開発

生産システム研究部　水上智道、吉田隆延、田中庸之
共同研究実施会社　株式会社やまびこ、KYB 株式会社、
KYB エンジニアリングアンドサービス株式会社

はじめに ・・・

はじめに

近年、農地の集約などによる経営規模拡大により、生産現場では大規模ほ場に対応した大型機械の導入が進んでおり、農薬散布機としてはブームスプレーヤが普及している。ブームスプレーヤは、地表面に凹凸や傾斜がある場合、高速作業や旋回などの際にブームが激しく揺れる。ブーム先端が地面に衝突し破損する危険性があり、農薬の均一散布が困難になるばかりではなく、ドリフトによる環境負荷が懸念される。

農薬を安全に効率的に利用するためには、適切なブーム高さから適切な量を散布し、作物に農薬を十分に付着させることが重要である。佐藤[1)]によると、作業者が作物の高さに合わせて噴霧高さを調整する際に、手動でブームを調節した場合、ブーム先端での噴霧高さの変動幅は平均で100cm程度生じ、農薬を均一に散布することは極めて困難な状況にあると述べている。また、今井[2)]によると、作物に対する農薬の付着率は、噴霧高さが30cm付近の場合に最も良く、噴霧高さが±10cmずつ変化すると付着率は約５％の割合で低下する。さらに、田中[3)]は、葉の両面にむらなく農薬を付着させるためには噴霧高さを約30cmに設定するのが良いと報告している。この他にRogersら[4)]は、農薬を均一に散布するためには適切なオーバーラップが必要であり、適切な噴霧高さで作業することが重要と述べている。しかし、実際の作業時には、ブームが作物や地面に接触することを回避するために、過度にブーム先端を上げた状態で作業する場面が多く見られる。また、ブームの振動を抑制するために、作業速度を遅くしている。今後、大規模化に伴い、省力的な農業経営を行うためには、作業速度の高速化が大変重要な課題である。

この問題に対応するため、生研センターでは、農業機械等緊急開発事業の下で、KYB株式会社、KYBエンジニアリングアンドサービス株式会社、株式会社やまびこと共同でブーム振動制御装置の研究開発に取り組んできた。そこで、今回開発されたブームスプレーヤのブーム振動制御装置について、以下のとおり報告する。

１．開発目標

本開発では、ブームスプレーヤによる高速作業時において、ブームの挙動を安定化し、作業精度を維持・向上できる機構・装置を開発することを目標としている。

２．開発機の概要

ブームスプレーヤのブーム振動制御装置を搭載した開発機を図１に示す。開発機は、13.9kW のディーゼルエンジンを動力とする水田・畑で併用できるブームスプレーヤ（乗用管理機搭載式）である。タンク容量 600L、最大散布幅 15.6m である。ブーム振動制御装置の開発コンセプトとして、(1)ダンパ等を装着することで路面から入力される振動を絶縁し、振動をブームに伝達しないこと、(2)ブームの剛性を高めることで、振動し難い構造体にすること、の２つの方面からアプローチした。

そこで最終的には、制御すべき振動を①上下、②ロール、③前後の３方向に分けて考え、後述のとおり、それぞれの方向の振動を制御する３種類の装置を開発するとともに、前記のブームスプレーヤ本体に①と②の２種類、あるいは、３種類全てを同時に搭載し、その機能を把握した。

図１　開発機

１）上下方向振動制御装置

上下方向振動制御装置（以下、HPS：Hydro-Pneumatic Suspension）の主要諸元を表１に示す。本装置は、油圧シリンダ、アキュムレータ、減衰バルブ等から構成される。既存機のブーム昇降用油圧シリンダの代替として用いることで、両輪のタイヤから同時に入力される上下方向の振動を絶縁し、振動がブーム本体に伝達しないようにする装置である。

表１　HPS の主要諸元

シリンダ	シリンダ形式	単動式
	ロッド径	φ30
	ストローク	156mm
	耐圧	10.3MPa 以上
	質量	3.5kg
バルブ ASSY	最大流量	６Ｌ/min
	質量	３kg
アキュムレータ	ガス容積	950cm^3
	最高使用圧力	6.86MPa
	質量	7.4kg

２）ロール制御装置

ロール制御装置（以下、ロールダンパ）の主要諸元を表２に示す。本装置は、油圧シリンダ、アキュムレータ、減衰バルブ、リミットスイッチから構成される。車体のロールにより生じるブームの上下振動を絶縁し、振動がブーム本体に伝達しないようにする装置である。本機能は、左右のブームが全開時のみ作動するようにリミットスイッチで、ブーム全開を感知し制御を行っている。ま

た、傾斜地における散布作業に対応するため、手元で任意の角度に調節できるようにコントローラを装備している。

表２　ロールダンパの主要諸元

シリンダ	シリンダ形式	両ロッド式
	取付長(取付ピン～トラニオン)	150mm
	ロッド径	φ12
	ストローク	±30mm
	耐圧	10.3MPa 以上
	質量	３kg
バルブ ASSY	最大流量	５Ｌ/min
	質量	5.9kg
アキュムレータ	ガス容積	310cm^3
	最高使用圧力	6.86MPa
	質量	1kg

３）前後方向高剛性スライド式ブーム

ここで、高剛性ブームとは、前後（上下）方向の振動に対して高い剛性を発揮し、振動低減を実現するブームのことである。欧米の高剛性ブームは、トラス構造等を採用することで上下前後方向に対して高剛性を実現しており、折りたたみ式ブームが一般的であるが、日本では、不定形のほ場が多い事等から、ブームが伸縮するスライド式の高剛性ブームが求められている。このため、スライド式の高剛性ブームを実現するため、現行ブームの形状を見直して前後方向に剛性を増した高剛性スライド式ブームを開発した。主要諸元を表３に示す。

表３　前後方向高剛性スライド式ブームの主要諸元[1)]

	ブーム根元側		ブーム先端側	
	既存ブーム	開発ブーム	既存ブーム	開発ブーム
材質	A6063S-T5	←	←	←
全長(mm)	3,600	←	3,650	←
断面積(mm^2)	392	556	356	383
質量（g）	1,055	1,502 (1.42)	958	1,030 (1.08)
上下・断面２次モーメント（mm^4）	180,938	270,056 (1.49)	97,673	118,681 (1.22)
前後・断面２次モーメント（mm^4）	118,472	497,460 (4.20)	35,639	180,357 (5.06)

１）() は既存ブームに対する比

３．障害物走行試験

HPS とロールダンパの基本性能を把握するため、前記のブームスプレーヤ本体に３種類全てを同時に搭載し、以下の障害物走行試験を行った（図２）。

図２　障害物走行試験風景

１）試験方法

開発機のブーム先端に超音波式変位センサを取付け、障害物（長さ 100㎜×高さ 60㎜）を両輪で同時に乗り越す条件（以下、両輪乗り越し試験)、片輪のみで乗り越す条件（以下、片輪乗り越し試験）において、開発機（1.0m/s)、既存機（水平制御あり 1.0m/s)、既存機（水平制御あり 0.5m/s）で走行し、ブームの上下方向の変位を測定した。ここで、両輪乗り越し試験は、機体に上下方向の振動が加わる状況を想定しており、片輪乗り越し試験は、ロール方向の振動が加わる状況を想定している。

２）結果の概要

両輪乗り越し試験結果を図３に示す。ここで「水平制御あり」とは、既に市販化されている機体（以下、既存機）にオプションで装備可能な水平制御装置を用いたことを示す。ブームの水平状態を０㎜ とし、上方への変位をプラス、下方への変位をマイナスとして示している。既存機（水平制御あり 0.5m/s）では、走行速度が遅いことから、ブームの上下変位が小さく、最下方-166㎜、最上方 157㎜ であった。既存機（水平制御あり 1.0m/s）では、走行速度が速いことから、ブームの上下変位が大きくなり最下方-425㎜、最上方 536㎜(測定レンジオーバーしたため取得値の最上方値を示す)で、さらに振動の収束にも時間を要した。開発機（1.0m/s）は、両輪のタイヤから同時に入力される振動を HPS で絶縁することで､最下方-209㎜､最上方 282㎜ と上下変位を制御した。以上の結果、上下方向の振動を想定した両輪乗り越し試験において、開発機（1.0m/s）は、既存機（水平制御あり 1.0m/s）に対して振動が低減することを確認した。

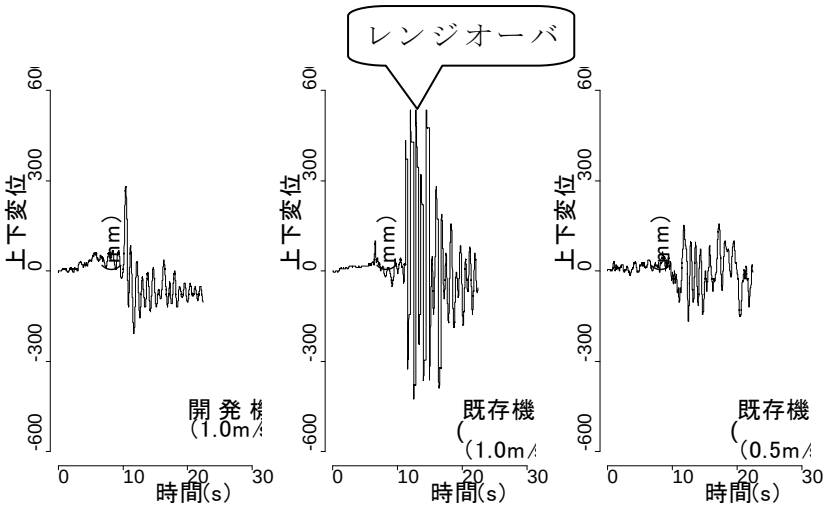


図３　両輪乗り越し試験結果

片輪乗り越し試験結果を図４に示す。既存機（水平制御あり 0.5m/s）では、走行速度が遅いことから、ブームの上下変位が小さく、最下方-182mm、最上方 287mm であった。既存機（水平制御あり 1.0m/s）では、最下方-468mm、最上方 344mm と振幅が大きくなり、さらに振動の収束にも時間を要した。開発機（1.0m/s）は、ロールにより生じるブームの上下振動をロールダンパで絶縁することで、最下方-318mm、最上方 198mm と上下変位を制御し、振動の収束に効果があることを確認した。以上の結果、ロール方向の振動を想定した片輪乗り越し試験において、開発機（1.0m/s）は、既存機（水平制御あり 1.0m/s）に対して振動が低減することを確認した。

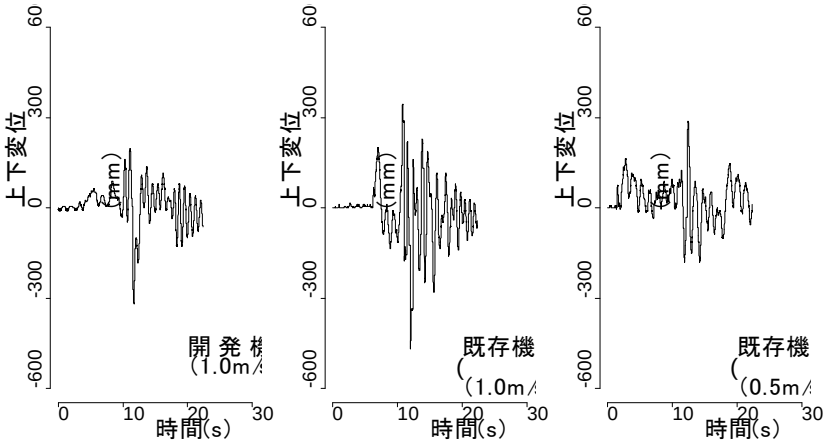


図４　片輪乗り越し試験結果

４．急制動試験

前後方向の振動抑制効果が求められる高剛性スライド式ブームについて、その基本性能を把握するため、前記のブームスプレーヤ本体に３種類全てを同時に搭載し、以下の急制動試験を行った。

１）試験方法

左ブームの先端と中央部に取付けた画像処理用マーカを撮影するため、センターブームに高速度ビデオカメラを設置し、1.0m/s で走行し急制動した。急制動後、ブームの前後方向の振動を高速度ビデオカメラ（300fps）で撮影し（図５）、画像処理ソフトでブームの前後変位を測定した。

図５　高速度ビデオカメラと画像処理マーカ

２）結果の概要

急制動試験結果について、時系列データとして前後変位を示したグラフと、前後変位についてデータの分布を要約した箱ひげ図を図６に示す。車体前方をプラスとして、車体後方に変位した場合をマイナスで示した。既存機は、最後方に-666mm、最前方に 777mm に変位し、収束に時間を要した。開発機は、ブームの開閉構造上、後方へ折りたためる構造となっているため、最前方より最後方への変位が大きく、最後方に-534mm、最前方に 418mm であった。図６の箱ひげ図から、データの分布を確認すると、既存機に対して開発機は、特に前方への変位を制振し、前後方向に剛性を増したブームは、既存機に対して振幅が小さく、振動の収束が速いことが確認される。

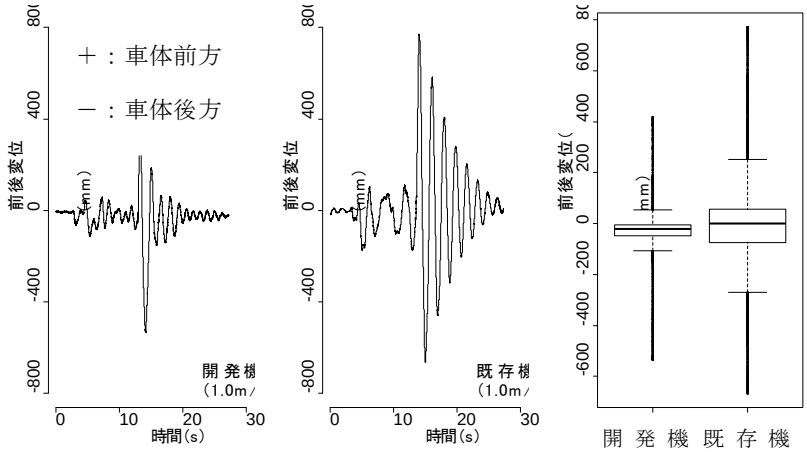


図６　急制動試験結果

５．ほ場試験

HPS とロールダンパの効果を実際のほ場において検証するため、双方の装置を搭載した開発機を用いて、以下のほ場試験を行った。

１）試験方法

北海道の水稲および麦収穫後の畑（図７）、鹿児島県の水稲および飼料用水稲のほ場において、HPS とロールダンパの性能について確認した。ブームに画像処理マーカと高速度ビデオカメラを取付け、1.0m/s で走行しブームの上下方向の変位を測定した。

図７　ほ場試験風景（北海道：麦収穫後の畑）

２）結果の概要

北海道で行った麦収穫後の畑走行試験結果について、時系列データとして上下変位を示したグラフと、上下変位についてデータの分布を要約した箱ひげ図を図８に示す。ブームの水平状態を０mm とし、上方への変位をプラス、下方への変位をマイナスとして示している。既存機では、最下方-145mm、最上方 250mm であった。開発機は、HPS とロールダンパで振動を絶縁することで、最下方-113mm、最上方 123mm に制御した。図８の箱ひげ図から、データの分布を確認すると、既存機に対して開発機は、特に上方への変位を制振していることを確認した。タイヤのラグ等により生じる細かな振動を制振することはできなかったが、路面の凹凸から生じる大きな入力に対して制振効果を発揮した。

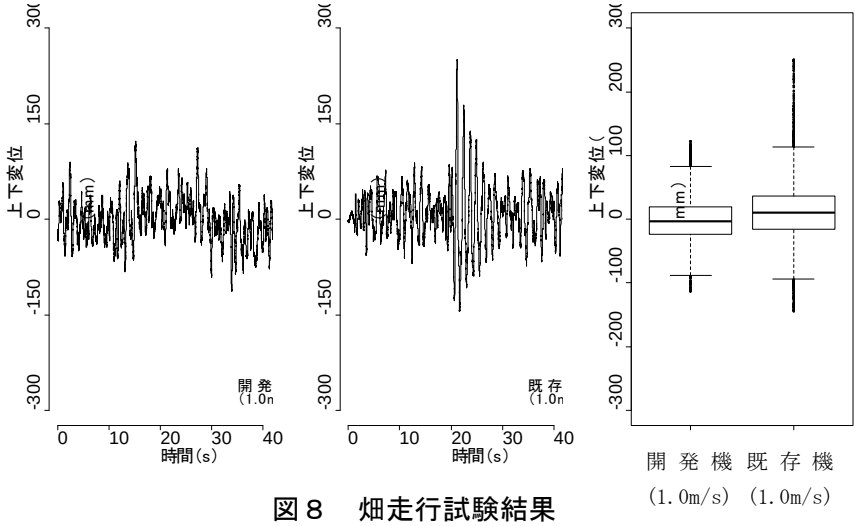


図８　畑走行試験結果

北海道で行った水稲走行試験結果について、時系列データとして上下変位を示したグラフと、上下変位についてデータの分布を要約した箱ひげ図を図９に示す。既存機では、最下方-213mm、最上方 263mm であった。開発機は、HPS とロールダンパで振動を絶縁することで、最下方-162mm、最上方 208mm に制御した。図９の箱ひげ図から、データの分布を確認すると、既存機に対して開発機は、最上方・最下方へそれぞれ 50mm 以上、変位を抑えていることを確認した。開発機は既存機に対して、最大振幅を低減することを確認した。

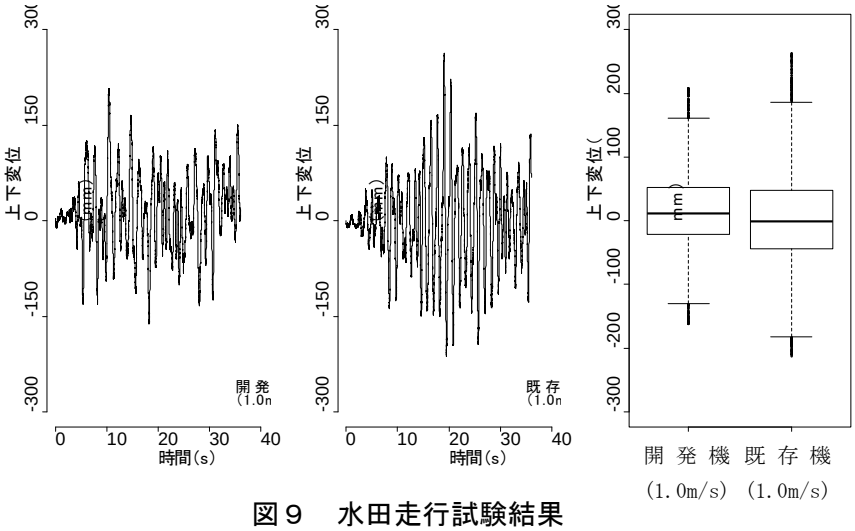


図９　水田走行試験結果

６．ドリフト低減効果試験

ブーム振動がドリフトに及ぼす影響を評価するため、開発機を用いて、以下のドリフト低減効果試験を行った。

１）試験方法

無風下で、開発機および既存機ともにドリフト低減ノズル（粒子径 215μｍ（散布圧力：1.5MPa））を用いて清水散布しながら、上記２．障害物走行試験と同様の条件で速度 1.0m/s で走行した。ブーム先端から 1.0、3.0、5.0m、地上高さ０、0.5、1.0m の３か所に感水紙（液滴が付着した部分が青色に変色する試験紙）を水平に設置し、ドリフトする清水を調査した。変色した液斑による紙面の被覆程度（被覆面積率）の解析には、画像処理ソフトを用い、ドリフトを評価した。

２）結果の概要

ドリフト低減効果試験結果を図 10 に示す。顕著な被覆面積率を示した感水紙も記載した。無風下でドリフト低減ノズルを供試したことで、ブーム先端 3m 以上はドリフトしなかった。一方、ドリフト低減ノズルを供試しても、ブームが振動することで１ｍ 程度まで飛散することを確認した。ブームを制振することで、１ｍと近い距離においても飛散を低減できることを確認した。また、近隣への飛散を抑制できることから、不均一散布を抑制する効果も可能性が見出された。ここで、走行条件別に比較すると、ロールが生じる片輪乗り越し試験は、両輪乗り越し試験に比べ、被覆面積率が高くドリフトが生じやすいことが確認されたが、振動制御装置により、ブームの変位を小さく抑えられる開発機は、特に片輪乗り越し試験でドリフト低減効果が高いことを確認した。

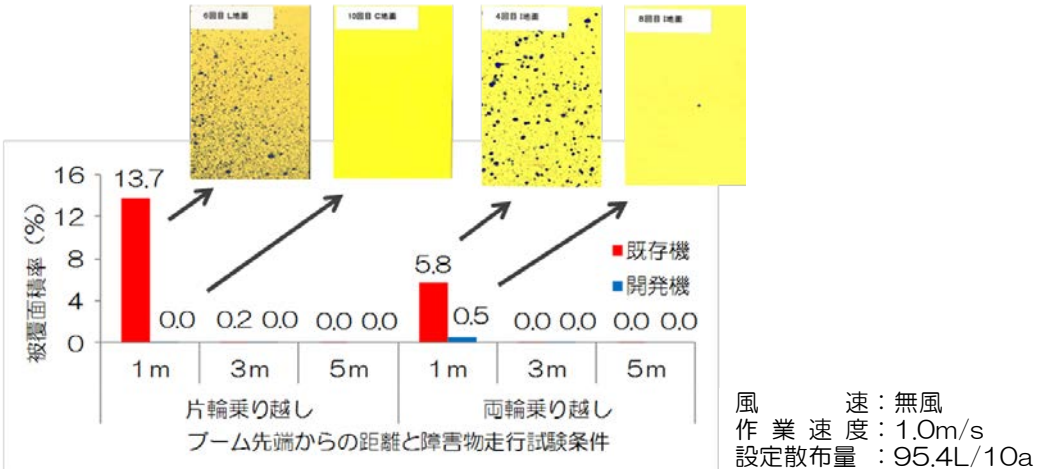


図 10　ドリフト低減効果

おわりに

本研究は、平成 23 から 25 年度までの 3 年間で実施したものである。これまでの研究開発により、開発したブームスプレーヤのブーム振動制御装置の制振効果について確認してきたが、開発装置により、慣行よりも高速な作業が可能となることから、規模拡大や省力化にも貢献できると考えている。このため、現在求められている農家の規模拡大が進められることに伴い、本装置の必要性はさらに大きくなると推測される。さらに、地面との衝突によるブームの破損事故、薬液の不均一散布およびドリフト発生のリスクを減らすことが可能となるため、修繕費の節減や環境負荷の低減につながると考えられ、この面でも農家や地域社会に貢献できると期待している。

現在、関係各方面の協力を得ながら、今後の実用化・市販化に向けた検討を行っているが、本装置の生産現場導入を早期に実現したいと考えている。

最後に、本研究の実施にあたり、（株）やまびこ、KYB（株）、KYB エンジニアリングアンドサービス（株）、（有）ほなみ、三本木グリーンサービス（株）、笠木原営農組合など、関係者各位には多大なるご協力を賜った。ここに記して厚く感謝の意を表する。

参考文献

1）佐藤禎稔：ブームスプレーヤの噴霧高さの実態，帯大研報Ⅰ，17．289-297．1991

2）今井正信：最新防除機，新農林社，1964

3）田中彰一：農薬要論，養賢堂，1971

4）Rogers et al：Dynamic Behavior of Spray Booms ，ASAE paper，No.82-1008，1982

5）水上智道ら：ブームスプレーヤのブーム挙動安定化および作業高さ制御に関する研究，第 70 回農業機械学会年次大会講演要旨，106-107，2010

6）水上智道ら：ブームスプレーヤのブーム振動制御装置の開発，第 48 回農業機械学会関東支部年次報告，26-27, 2012

7）水上智道ら：サスペンション機能を用いたブームスプレーヤのブーム振動制御装置の開発，第 72 回農業食料工学会年次大会講演要旨，155，2013

ラッカセイ収穫機の開発

園芸工学研究部　　深山大介、青木　循、李　昇圭、宮崎昌宏
共同研究実施会社　松山株式会社

はじめに ····· 12

１．開発の背景 ····· 12

２．開発機の概要 ····· 13
　１）堀取り機構 ····· 13
　２）反転機構 ····· 14

３．開発機の性能 ····· 14
　１）収穫損失および反転率 ····· 14
　２）作業能率 ····· 15

４．小規模な作付けへの対応 ····· 16

おわりに ····· 16

参考文献 ····· 16

はじめに

日本におけるラッカセイの栽培面積は、ピーク時の 1/9 程度にまで減少しており、その要因の一つとして機械化の立ち遅れによる収穫作業の重労働があげられる。一方、ラッカセイは畑輪作に容易に組み込めることから、主産地ではニンジンをはじめとする収益性の高い畑作物を維持する重要な作物に位置づけられている。また、病害に強く栽培が比較的容易なことから耕作放棄地への作付けも可能である。これらのことから、収穫作業の機械化による省力化は強く求められている。

以上の背景を踏まえ、生研センターでは、2011 年（平成 23 年度）より、第 4 次緊プロ事業において、収穫後にほ場内乾燥させる収穫体系に適用できるラッカセイ収穫機の開発に取り組んだ。これまでに主産地での現地実証試験などを通して開発機の性能が明らかになったことから、その概要について報告する。

１．開発の背景

国内で主に栽培される炒り豆用途のラッカセイの収穫は、株を掘り取った後、株の上下を反転させて列状に並べる、いわゆる地干しが行われる。この作業では、5～14 日間で莢の水分を 15～17%程度まで乾燥させ、その後、さらに莢の乾燥を進めるために、株を集積して野積みをする [1)2)]。野積みは、地域や生産者の考え方によって形態や作業方法が異なるが、地干しに関しては、ほとんどの産地で共通の作業方法がとられている [3)]。

掘取り作業では、根を切り、株を引き抜きやすくするため、乗用または歩行トラクタ装着型の掘取機を利用するが、その後の株の引抜き、土ふるい、反転整列作業はすべて手作業で行われる（図１、図２）。これらの作業は、中腰姿勢で 10 アールあたり 6 時間以上要するきつい作業であることから [4)]、機械化による省力・軽作業化が特に強く求められている。

これまでにラッカセイ収穫機械化の取り組みは、主に掘取り作業に関しては、海外の機械の導入 [5)] や、サイドレーキなど他作物用の機械の利用 [6)]など、幅広く取り組まれたが現在に至るまで実用化された例は無い。また、地干し後のラッカセイを収穫するピックアップコンバインについても同様に検討されたが [7)]、こちらも国内では実用化に至っていない。

これらの背景からラッカセイ栽培の機械化に対する要望は以前にも増して強く、産地や業界団体からの開発要請を受け、生研センターでは 2011 年（平成 23 年）より、第 4 次緊プロ事業においてラッカセイ収穫機の開発に着手した。

図１　産地で利用される掘取機

図２　手作業による反転作業

２．開発機の概要

開発に当たり、以下を目標とした。①収穫後にほ場内乾燥する慣行の掘取り反転作業を省力・軽作業化する、②トラクタ装着型の作業機、③慣行の栽培様式に適応すること。

開発したラッカセイ収穫機を図３に、機構概略を図４、主要諸元を表１に示す。開発機は、ラッカセイを掘り取り、株を反転させて地表面に落下させる。19kW{26PS}以上のトラクタに装着する作業機で、主要構造部として、掘取り機構と反転機構で構成される。掘取作業幅 120cm の１畝作業型で、畝幅 120～140cm、条間 45cm、畝高さ 10cm 程度の１畝２条栽培のラッカセイに対応する。収穫時の作業速度は概ね 0.4m/s である。作業はオペレータ １名で行う。慣行の手作業による反転整列と同じ状態に仕上げるためには、未反転株の手直しを手作業で行う。

図３　ラッカセイ収穫機

表１　ラッカセイ収穫機諸元

全長	2600mm
全幅	1560mm
全高	1340mm
作業幅	1200mm
機体質量	380kg
適応トラクタ	19kW{26PS}～
栽培様式	1畝2条植え
畝幅	120～140cm
条間	45cm

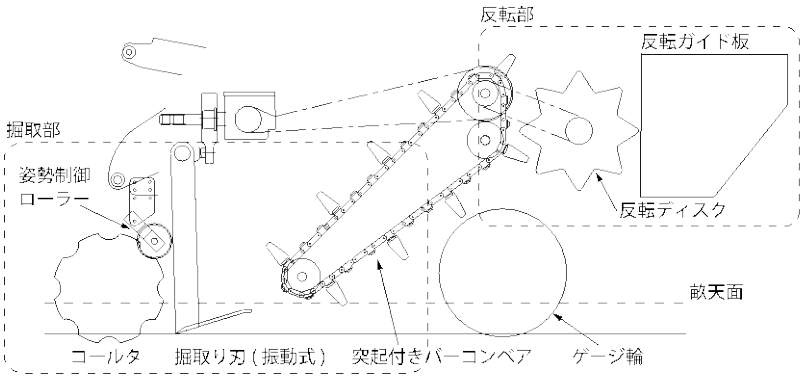


図４　機構概略図

１）掘取り機構

掘取り機構は、姿勢制御ローラ、コールタ、掘取刃（根切刃）および搬送用の突起付きバーコンベアで構成される（図５、図６）。姿勢制御ローラが作物の地上部を前方へ押し倒した状態で掘取刃で掘り取る。掘取刃は直線形状の振動式で、浮かし掘りに利用される掘取機（リフター）などと同様に根を切りながら、土を膨軟にする。バーコンベアは、コンベア上の突起が、作物を掻き上げて、後方の反転機構に搬送する。機構としては既存の掘取機に類似するが、掘取機のバーコンベアは作業中に前端部が土中に入り、収穫物を土ごと掘り取るのに対し、開発機のバーコンベアは、前端部が畝天面

より上に位置し、バーコンベアの突起が株だけを掻き上げる点が大きく異なる。また、バーコンベアのバー間隔は既存の掘取機に比べて広く、根部に付着する土は搬送される間にふるい落とされる。掘取り深さの調整は、畝天面の約 10cm 下を目安として、トップリンクの長さとゲージ輪の位置で調整する。

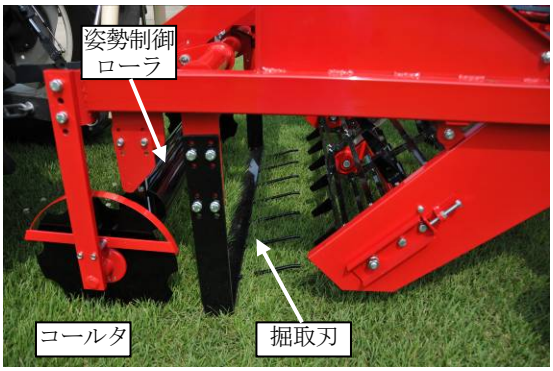


図５　掘取り機構

図６　バーコンベア

２）反転機構

反転機構は、反転ディスクと反転ガイド板で構成される（図７）。バーコンベアから送られたラッカセイの株を反転ディスクが後方へ放てきし、反転ガイド板の傾斜面によって株の根部を上向きに地面へ落下させる（図８）。反転ディスクは外周部がゴム製で最大径が 400mm の星形ディスクを機体幅方向に複数枚並べたものである。また、反転ガイド板は後方が閉じた形状により、2 条のラッカセイを中央に寄せて地面に落下させる。

図７　反転機構

図８　作業後の株の状態

３．開発機の性能

１）収穫損失および反転率

現地試験における開発機の収穫損失は、地表落下莢と埋没莢をあわせて概ね 6%以下であった（表２）。損失は、バーコンベアが株を掻き上げて搬送する時や、反転ディスクが株を放てきする時に生じ

ると考えられるため、バーコンベアと反転ディスクの周速度は損失が低減する条件になるように設計した[8]。また、損失は、収穫時期が遅くなるほど地表落下莢、埋没莢とも増加するため[7]、適期収穫に努めることが損失を低減するためには最も重要となる。

開発機による株の反転性能は、株の根部が表層に露出し、莢が地面に接していない株の割合を反転率として調査した。その結果、反転率は最高で 74%となり、良好な性能を示した（表２）。一方、試験地によって反転率に幅があるが、この要因としては、ラッカセイの地上部の作物状態が影響していることが考えられる。特に、株の地上部が過繁茂状態で、分枝長が長く隣接する株同士が強く絡み合っている場合などでは反転しないことが分かっており、今後、作物状態と反転性能の関係を調査する。

表２　作物状態、収穫損失および反転割合

	試験地	品種	最長分枝長(cm)	分枝数(本)	部位別質量(g) 莢	部位別質量(g) 地上部	収穫損失*1 (%)	反転割合*2 (%)
2013.9.19	香取市	ナカテユタカ	42	59	185	519	2.8	53
10. 7	成田市	千葉半立	55	40	285	434	6.0	74
10.10	富里市	千葉半立	69	45	183	391	4.3	45

*1 収穫損失は、地表落下莢、埋没莢の合計
*2 根部が露出し、莢が地面に接していない株の割合

２）作業能率

開発機による収穫作業の能率を表３に示す。作業条件は、開発機を 19kW のトラクタに装着して作業した後、手作業で未反転株を反転させる手直しを行った。慣行作業は、図１に示すような掘取機を 18kW のトラクタに装着して浮かし掘りした後、手作業で株を引き抜き、土ふるいをして反転整列させた。その結果、慣行作業は作業速度が早いため、掘取りの能率が高かったものの、引き抜き、土ふるい、反転の手作業に要する作業時間は大きくなった。10a あたり投下労働時間は慣行 6.32 人時に対し、開発機は 3.85 人時であった。これら機械作業、手作業を合わせた投下労働時間を見ると、開発機は慣行の作業時間を 35%短縮できることが明らかとなった。また、慣行作業における反転の手作業では株の引き抜き、土ふるい、反転を要するのに対し、開発機における手作業は反転の手直し作業を行うだけでよく、軽作業化が実現できることも推察できる。なお、表３に示す慣行作業では、土壌含水率 30%の条件下で、株の引抜き力は 113N を要した。

表3　投下労働時間および作業特性の比較

	投下労働時間*1（人時/10a） 機械作業	手作業	合計（慣行を100）	株の引抜き力*2 (N {kgf})
慣行作業	0.47	6.32（引抜き、土ふるい、反転）	6.79 (100)	113{11.5}
開発機	0.56	3.85（反転）	4.41 (65)	－　*3

*1 品種「千葉半立」、調査面積：慣行13a、開発機7.3a
*2 株を垂直方向に引き抜く時に要する力。試験時の土壌含水率=30%
*3 株が地表面に完全に露出した状態。

４．小規模な作付けへの対応

開発したラッカセイ収穫機の作業性を高めるためには、枕地を確保することで旋回などの損失時間を低減する必要がある。しかし、ラッカセイの主産地では比較的規模の小さい畑も多く、十分な枕地を確保できない場合が多い。また、小規模な生産者は、所有しているトラクタも小型であることが多い。そこで、このような栽培条件に対応するラッカセイ収穫機として、反転機構を省いた小型のラッカセイ収穫機（以下、簡易型）を試作し、普及可能性を検討した。

簡易型（図９、表４）は、掘取りの仕組みはラッカセイ収穫機と同じであるが、反転機構を省いていることが特徴である。また、バーコンベアを短く、ゲージ輪をスキッドに変更するなど、小型軽量化を進めている。作業後のラッカセイの株は反転しないため、人手による反転作業は必須であるが、株は完全に地表に露出し、根部の土がふるい落とされていることから作業性が良く、反転の手作業に要する作業時間は、慣行より短縮できることを確認している。簡易型についても今後、実証試験を通して現地適応性を高め、実用化する予定である。

図９　ラッカセイ収穫機（簡易型）

表４　ラッカセイ収穫機（簡易型）諸元

全長	1300mm
全幅	1220mm
全高	1010mm
作業幅	1000mm
機体質量	300kg
適応トラクタ	15kW{20PS} ～

おわりに

以上述べてきたように、収穫後にほ場内乾燥するラッカセイの収穫に適用できるトラクタ装着型のラッカセイ収穫機を開発し、複数の産地における現地試験を通して、開発機の性能を明らかにした。開発機は平成 26 年度に市販開始予定である。今後は機械作業を前提とした栽培や作業方法の検討も進め、ラッカセイ収穫機の適応性拡大を図っていく。

謝辞

今回の開発では、多数の落花生生産者や農業協同組合、千葉県農林総合研究センター、茨城県農業総合研究所、鹿児島県農業開発総合センターおよび行政関係部局に多大なご協力とご助言を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

１）間谷敏邦：ラッカセイ作機械化最前線、農業機械学会誌 59(1)、121-125、1997

２）坂本ら：落花生収穫の機械化、農業機械学会誌 43(4)、655-656、1981

3）中川悦男、新妻芳弘：茨城県における落花生栽培の現状、茨城農試研報 23、123-141、1984
4）茨城県農業試験場：昭和 53 年度実用化技術組立試験成績　−ラッカセイを中心とした土地利用・高能率生産技術組立試験−、P68、1980
5）江崎春雄：落花生の収穫・調製の機械化に関する研究　−文献的研究−、P24、1983
6）鈴木ら：落花生の機械化作業体系に関する研究、千葉農試研報 12、63-81、1972
7)矢治ら：落花生収穫作業の機械化に関する研究、農事試研報 35、207～234、1981
8)深山ら：ラッカセイ収穫機の開発　ー動作条件と収穫損失の関係についてー、農食工学会第 72 回講要、P177、2013

イチゴパック詰めロボットの開発

特別研究チーム（ロボット）　山本聡史、林茂彦、坪田将吾
企画部　落合良治
共同研究実施会社　ヤンマーグリーンシステム㈱

はじめに ····· 20
１．開発目標 ····· 20
２．開発機の構造と作用 ····· 21
１）ロボット本体 ····· 21
(1) パック詰めユニット ····· 21
(2) 搬送容器ユニット ····· 24
(3) 出荷容器ユニット ····· 24
２）搬送容器 ····· 24
３）選果ラインとのシステム化 ····· 25
３．開発機の性能 ····· 26
おわりに ····· 26
参考文献 ····· 27

はじめに

イチゴは非常に傷つきやすいため、選別パック詰め作業の自動化は長年の課題であった。慣行作業では、パック詰めした際の見映えが重視されるため、ジグソーパズルのように果実の形状を考慮し、既にパック詰めした果実の隙間に当てはめながらパック詰めする。このように作業者が果実の大きさ、形状、着色度合を判別し、容器にパック詰めする時間は１果当たり概ね５～８ｓである。この選別パック詰め作業が、ピーク時には夜中までかかり、多大な労力を要する。また、果実硬度の低下を防ぐため、作業空間での暖房の使用が制限され、低温下での長時間作業を強いられている。こうしたイチゴ生産者の作業負担を軽減するため、選別パック詰め作業の自動化について、これまで多くの研究開発が行われてきた。自動選別では、画像処理を用いた選別システム[1)～4)]が研究され、ヤンマーグリーンシステム(株)により、果実質量及び糖酸度を計測して選果するイチゴ非破壊品質測定装置が実用化された[5)]。自動パック詰めでは、軟弱なイチゴ果実を損傷なく搬送するソフトハンドリング技術に関する研究開発[6)～11)]が行われた。ソフトハンドリングの手法は、果実に触れることなく果柄をハンドリングする方法、微弱な力で果実をハンドリングする方法、比較的損傷しにくい果底部から果実を吸着保持する方法の大きく３つに分類できる。このうち、果底部から果実を吸着する方法は、吸着時の負圧をできるだけ低く設定し、さらに果実と接触する部分に十分軟らかい緩衝材を取り付けることにより、損傷なく保持できると考えられた。

一方、イチゴの出荷容器は、消費者、流通業者、加工業者のニーズの多様化を受け、慣行の２段詰めパックだけではなく、主に業務用に、平詰めソフトパックの普及が進んでいる。この平詰めソフトパックは慣行の２段詰めパックと比較し、流通時の果実損傷が軽減可能と報告されている[12)]。

こうした状況の下、生研センターでは、2007 年から選別パック詰め作業の自動化に取り組み、平詰めソフトパックを対象とした自動選別パック詰め技術を開発した[13)～15)]。収穫箱から果実を取り出し、画像処理により大きさ別に階級判別し、吸着ハンドにより平詰めソフトパック等の出荷容器に向きを揃えて並べるものであり、果重の推定誤差は±２ｇ以内、果実を収穫箱から取り出して出荷容器に並べるハンドリング成功率は 97%であった。果実１果当たりに要する作業時間は７ｓと慣行の手作業とほぼ同等の能率であったが、視察した生産者から一層の能率向上を要望された。このように蓄積した技術をベースにして、2011 年度から農林水産省の農業機械等緊急開発事業により、イチゴの選果施設を開発したヤンマーグリーンシステム(株)との共同研究を実施し、イチゴパック詰めロボットの開発を進めてきたので、その概要を報告する。

１．開発目標

イチゴ生産の労働時間の約３割を占める出荷労働の省力化を図るため、自動で等階級を選別する選果施設の導入が進んでいる。この自動選果施設は、果実質量及び糖酸度を計測して選果するイチゴ非破壊品質測定装置を備え、果実を損傷なく搬送するため、柔軟な素材を用いた搬送容器が使用される。作業者は、主に果実投入部にて果実を選果ラインの搬送容器に載せる作業と、果実集積コンベアにて

選別後に各等階級に振り分けられた果実を出荷容器にパック詰めする作業を行う（図１）。選果装置の処理速度は３果/s であり、パック詰め能率が慣行の能率 16～19 パック/h・人から 26.2 パック/h・人まで向上したと報告されている。しかし、パック詰め作業は依然として手作業であるため、人件費の削減が課題になっている。そこで、選果ラインにおいて等階級に選別された果実を搬送容器から拾い上げ、出荷容器に向きを揃えて並べるパック詰めロボットを想定し、開発目標・コンセプトを設定した。まず、果実を損傷なくハンドリングするため、搬送容器上に水平に置かれた果実の果底部を吸着するロボットを基本コンセプトとした。対象果実は、パック詰め作業の自動化が比較的容易で、年々増加傾向にある平詰めソフトパックで出荷されるものとし、目標処理時間は果実１果当たり３s、１時間で 40 パック以上とした。また、選果ラインの作業体系を考慮し、画像処理を用いずに果実の方向を揃えてロボットに供給するシステムをコンセプトに開発を進めた。

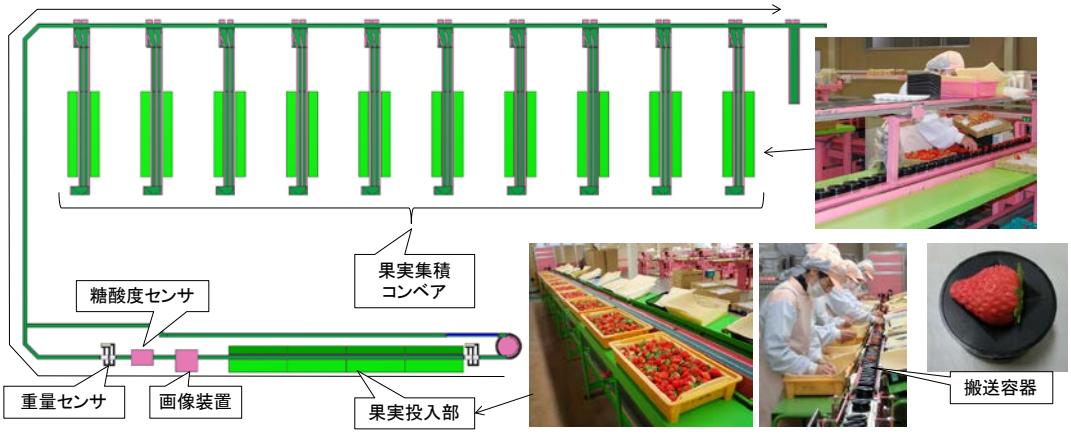


図１　イチゴの選果ライン

２．開発機の構造と作用

１）ロボット本体

ロボット本体は、パック詰めユニット、搬送容器ユニット、出荷容器ユニットから構成される（図２、表１）。以下、各ユニットについて説明する。

図２　本体の構成

(1)パック詰めユニット

パック詰めユニットは、果底部を吸着するハンドを６台備え、搬送容器上の果実６果を同時に平詰めソフトパックにパック詰めする（図３）。各吸着ハンドは上下･前後進動作を独立して行うアクチュエータと吸着を検知する圧力センサを備え、吸着を確認した瞬間に果実への接近動作を停止し、吸着ハンドを個別に上昇させる。マニピュレータにより吸着ハンドの間隔を搬送容器の径 80㎜ から平詰めソフトパックの果実間隔 38㎜ の範囲で調整

表１　ロボット本体の主要諸元

ロボット本体	寸法：L1830×W900×H1600mm、電源：AC100V、所要電力：0.6kW（本体）、1.5kW（エアコンプレッサ）
パック詰めユニット	マニピュレータ：１台、吸着ハンド：６台
搬送容器ユニット	方向制御部、搬送部、切欠き付き搬送容器
出荷容器ユニット	自動供給部、搬送部、平詰めソフトパック：L240×W160×H20mm

し、６台の吸着ハンドをまとめて水平移動する。果実が大きい場合、吸着ハンド間に厚さ９㎜のスペーサを設置し、５台の吸着ハンドによりパック詰めを行うモードを選択する。６個の搬送容器が定位置に搬送されてから果実を吸着、搬送して平詰めソフトパックに置き、マニピュレータが初期姿勢に復帰するまでの１サイクルの動作時間を９～10s とした。対象果実は､Mサイズ用 30 果入､Lサイズ用 24 果入、２L サイズ用 20 果入の平詰めソフトパック（総果実質量 300g 以上）で出荷される。

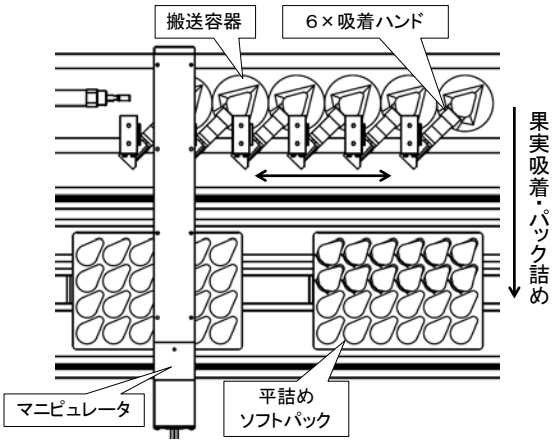
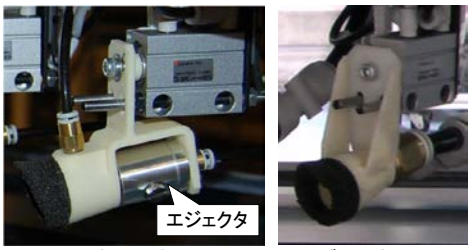


図３　パック詰めユニット

吸着方式として、圧縮空気を高速で吐出することにより周囲の空気を引き寄せ、負圧を発生させるエジェクタ方式と、ファンにより吸引するブロワ方式(風量小：0.9m^3/min､風量大 3.2m^3/min)の２方式を検討した(図４)。試作１号機において、10～16g の「さがほのか」を供試し、吸着方式、吸着管径、エジェクタの元圧、排気カバーの有無といった条件を変えて作業精度を調査した。搬送容器から果実を拾い上げ、途中で果実を落とすことなく平詰めソフトパックの所定の位置に置いた割合を吸着割合とした。また、パック詰めされた果実の姿勢のずれを目視評価した。すなわち、①果実方向がソフトパックの凹み形状に対して±45°以上ずれている場合、②果底部がほとんど見えなくなる程度に果頂部が上を向いている場合、③果底部全体がほぼ見える程度に果頂部が下を向いている場合を重度のずれと判断し、果実が平詰めソフトパックの形状に沿って収まっていない場合を軽度のずれとした。さらに、目視により果実損傷を



a) エジェクタ方式　　b) ブロワ方式

図４　試作１号機の吸着方式

表２　吸着方式による作業精度の比較

吸着方式	吸着管径 (mm)	元圧 (MPa)	エジェクタの排気風よけ	供試果数 (果)	平均質量 (g)	吸着割合 (%)	軽度の手直し率 (%)	重度の手直し率 (%)	損傷率 (%)
エジェクタ	20	0.5	なし	96	12.9	100.0	6.3	2.1	5.2
		0.6	なし	84	10.8	98.8	11.9	0.0	0.0
			あり	246	10.9	93.1	14.6	4.9	－
	22		あり	108	11.4	88.9	7.4	5.6	7.4
	25		なし	108	11.2	100.0	5.6	9.3	－
ブロワ小	20	－	－	150	12.3	94.0	7.3	3.3	2.7
ブロワ大				24	13.1	100.0	16.7	12.5	0.0

観察した。表２に結果を比較する。風量が大きなブロワでは果実を円滑にリリースできず、パック詰めした果実の姿勢がずれる割合が高くなった。風量が小さなブロワでは、吸着力が弱く、エジェクタの排気カバーなしの試験区と比較して、パック詰め成功率が低くなった。エジェクタの元圧を比較すると、0.5MPa では果実を引き寄せるような吸引を行うことができず、吸着管を果実に押しつけ、5.2％の割合で損傷が発生した。エジェクタの排気によるソフトパックの位置ずれを予防するため、エジェクタにカバーを設置した結果、平均吸引風量が 102L/min から 76L/min まで減少し、パック詰め成功率が低下し、損傷率が高くなった。吸着管径を 20mm から 25mm に変えると、果実を円滑にリリースできず、重度の果実姿勢のずれが増加し、さらに、吸着管同士の間隔を狭めた際、吸着管側面と果実が干渉することがあった。この他、吸着して搬送中にマニピュレータの振動により果実を落とすことがあった。また、吸着管本体の取付精度および吸着管先端に貼付した緩衝材の形状の違いにより、特定の吸着管でパック詰め成功率が低下する現象が観察された。これらの結果から、エジェクタを用いて、吸着管径 20mm、元圧 0.6MPa、排気カバーを付けない場合、吸着割合が 98.8％で、比較的姿勢良くパック詰め可能な見込みが得られた。

試作１号機の試験結果を踏まえつつ、果底部の形状のばらつきを考慮し、吸着管径 22mm でエジェクタ方式の吸着ハンドを備えた試作２号機を選果ラインに組み込み、性能試験を行った。ロボット単体の試験では、M サイズ 150 果で吸着割合 96.0％、L サイズ 72 果で 100％であった。選果ラインでの作業精度は、M サイズ 2,154 果に対して吸着割合 92.9％、L サイズ 1,044 果に対して 93.7％であった。精度が低下した原因として、搬送中に作用する加速度及び作業者が果実を搬送容器に載せる際の果実姿勢の乱れにより、吸着できない状況が増加したと推察された。エジェクタの吸引力だけでは実際の選果ラインにおける多様な果実姿勢に対応できなかったため、吸着管の先端部と本体の間に半連続気泡の筒状の緩衝材（中間リング）を取り付け、さらに、通気を確保するための剛体の接続部材を挟んだ。これにより、果実との接触時に、一般に用いられるベローズ構造の部材では実現が難しいような変形を柔軟に行い、負圧が発生しやすい構造にした（図５）。この中間リングの構造により、出荷容器にパック詰めする際、吸着ハンドの間隔が狭まって果実同士が接触する際にも、中間リングが変形して果実が逃げ、大きな力が果実に作用しないと考えられた。

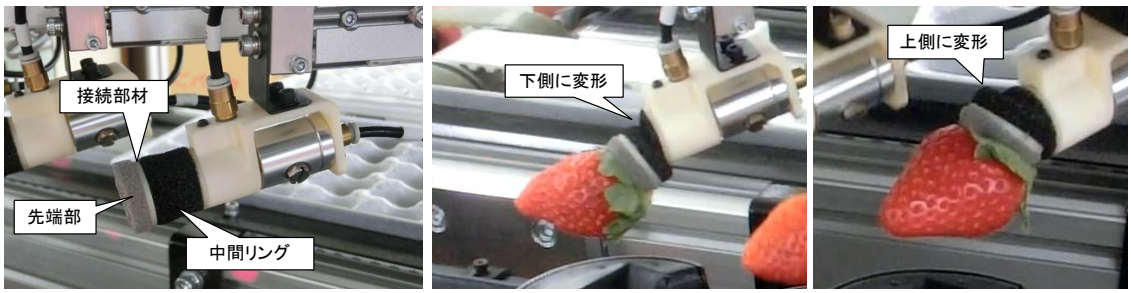


図５　吸着管先端の構成と中間リングの変形

(2) 搬送容器ユニット

搬送容器ユニットでは、ロボットに対して果実を一定の方向に揃えて供給する。このため、搬送容器の側面に溝を設け、ロボットの手前で搬送容器を回転させ、一定の方向になるとガイドと溝が一致し、通過可能になる（図６）。これにより、搬送容器に対し果実が一定の方向に載せられた場合、画像処理を用いることなく果底部が吸着管の方向に揃えることができる。また、所定の個数の搬送容器が供給されると光電センサにより検知し、パック詰め動作が開始され、動作終了後、空の搬送容器が排出される。吸着に失敗した果実を載せた搬送容器は他の搬送容器と仕分けられ、別の場所にストックされる。

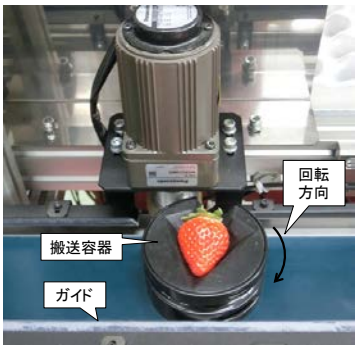


図６　搬送容器の方向制御

(3) 出荷容器ユニット

出荷容器ユニットでは、平詰めソフトパックを自動で供給する。M、L、2L サイズでソフトパックの形状が異なるが、各ソフトパックに共通する凹凸を考慮し、ブロワにより吸着する（図７）。上方に最大 50 枚ストックしたソフトパックを下方から吸着し、１枚ずつ引っ張り出す。引き離されたソフトパックは固定ガイドにより進行方向左右の位置決めを行い、桟付ベルトにより前方に運ばれながら前後の位置決めを行う。500 回の動作試験で供給に失敗した回数は２回であった。

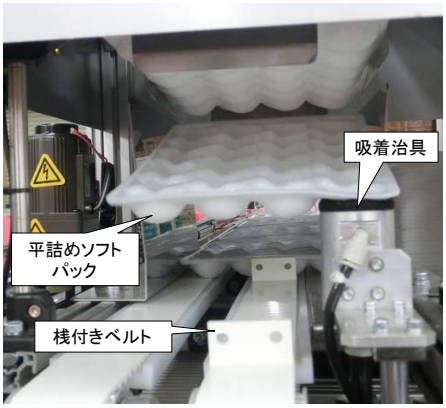
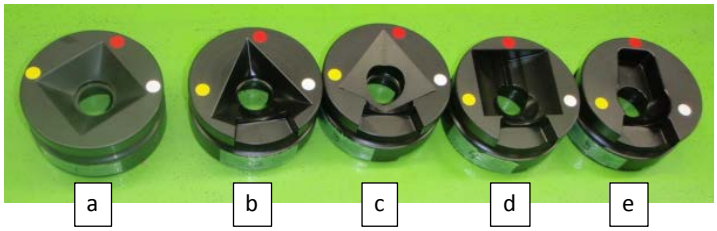


図７　搬送容器の方向制御

２）搬送容器

イチゴの選果ラインでは、作業者が搬送容器に果実を載せた後、搬送容器をベルトコンベアにより搬送し、選果装置により各等階級に選別して自動で振り分ける。パック詰めロボットを使用する場合、搬送容器に対し、作業者が果実の方向を揃えて載せ、選別、振り分け後、搬送容器は一定方向に向いた状態でロボットに供給される。このため、搬送中に果実ができるだけ動かないような形状の搬送容器を工夫する必要がある。また、ロボットが果底部を吸着するため、搬送容器上で果底部が露出していなければならない。そこで、果底部の方向に切欠きを有する様々な形状の樹脂製の搬送容器を試作した（図８）。10.9～37.4g の「おぜあかりん」20 果を供試して、選果ラインの果実投入部から果実



*搬送容器aは慣行の形状。

図８　試作した樹脂製の搬送容器

集積コンベアまで搬送した。搬送前後における果実を撮影し、画像処理により果実の姿勢変化（重心位置の移動距離、水平方向の変化、真上から見た果底部の面積割合の変化）を評価した。その結果、搬送容器ｂで果実の移動距離と水平方向の変化が少なかった（表３）。この形状の搬送容器を 1,800 個試作し、83,715 果の「さがほのか」で選果ラインにおける搬送性能を調査した結果、搬送中に果実が落下した割合は 0.16%であり、コンベアの急激な加速や分岐点での衝撃により姿勢が変化し、搬送容器の切欠き部分から落下する傾向があった。そこで、切欠きをできるだけ小さくし、コンベアの進行方向に対する切欠きの方向を変更することにより、搬送中の果実姿勢の安定化を図った。改良した搬送容器の性能を選果ラインにて調査した結果、99,563 果中落下した果実は 13 果で 0.01%に留まり、切欠きのない慣行の搬送容器とほぼ同等の性能が確認された。

表３　搬送前後の果実姿勢変化の比較

種類	重心位置の移動距離 (mm)			水平方向の変化 (°)			真上からみた果底部の面積割合の変化 (%)		
	平均	標準偏差	最大	平均	標準偏差	最大	平均	標準偏差	最大
a	3.1	1.6	5.8	15.7	21.0	83.6	3.8	3.1	11.5
b	2.2	1.1	5.0	11.3	9.8	34.6	6.6	5.9	27.8
c	3.8	2.2	7.9	19.8	20.9	83.9	5.5	3.6	12.3
d	3.6	2.5	9.0	13.0	15.1	60.6	4.4	2.8	11.4
e	2.5	1.7	5.9	13.1	7.1	28.5	9.6	7.5	26.6

３）選果ラインとのシステム化

図９にロボットを選果ラインに組み込んだ様子を示す。選果ラインの果実集積コンベアには搬送容器を振り分ける支流が 20 本あるが、その１本からロボットへ搬送容器に載った果実が供給される。ロボットに一定方向に並んだ果実を供給するため、作業者が搬送容器に対して果実を一定方向で載せる必要がある。選果ラインの果実投入部で搬送容器を一定方向で供給した方が作業しやすいため、搬送容器の底面に切欠きを設け、速度差と段差があるベルトコンベアにより切欠きと段差が一致するまで搬送容器を回転させる搬送容器整列部を果実投入部の上流に設けた。慣行作業では作業者は果実の方向を気にすることなく搬送容器に載せることができたため、新システムにおける作業能率の低下が危惧されたが、時間当たりの処理量に明確な差は生じないことが確認された。

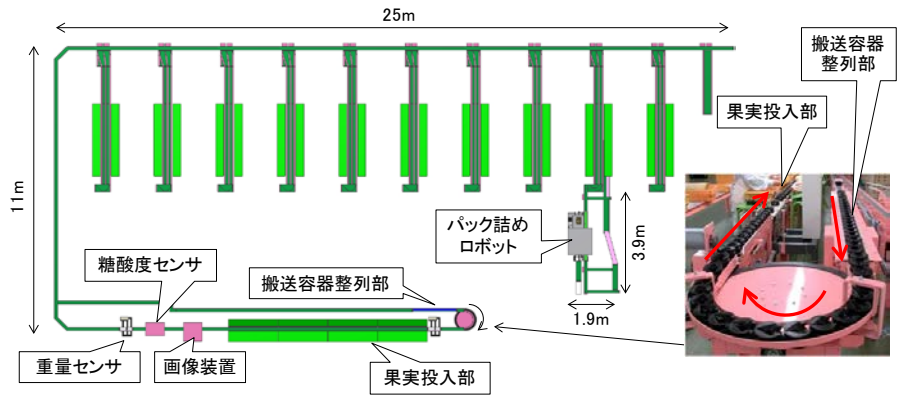


図９　選果ラインへの組み込み

３．開発機の性能

2013 年４月に、佐賀県内のイチゴ選果施設にて、最初にロボット単体の基本性能を調査した。搬送容器上の果実姿勢が水平で果底部が搬送容器の切欠きと同じ方向である場合、吸着割合は 100%であり、ロボットがパック詰めした果実の姿勢を人手で手直しする必要があると判断される割合は、M サイズ（平均質量 9.8g）で 11.1%、L サイズ（平均質量 12.1g）で 6.9%であった。また、2L サイズ（平均質量 17.2g）を 24 果入パックにパック詰めした場合は 2.5%であった。

次に、実際の選果ラインの稼働時に自動作業を行った場合、果実は平均 486 果/h で供給され、搬送容器から果実を吸着して出荷容器に搬送する吸着割合は、M サイズ（30 果入パック）で 99.0%、L サイズ（24 果入パック）で 99.6%であった（表４）。ハンドリング中の果実の落下割合は M サイズ 0.1%、L サイズ 0.2%であり、果底部の葉が果実から離れて浮いたり逆立ったりしている果実で発生する傾向があった。パック詰め動作１回の所要時間が約９s だったので、６果を同時にパック詰めした場合、最大 1.5s/果の能率で自動作業を行えることが見込まれた。自動でパック詰めした果実は、作業者により姿勢を手直しされ、出荷された。パック詰めを行う作業者から、慣行では一度に大量の果実が供給されると、とりあえず搬送容器から果実を拾い上げ、供給量が落ち着いてからパック詰め作業を行うが、ロボットの使用により、作業者よりも速くソフトパックに置くので、大量の果実が集中しても選果ラインが停止することなく、作業量のフラット化が実現できそうだとのコメントがあった。このように、ロボットが選果ライン全体のシステムに対して良い影響を与える可能性も示唆された。

表４　自動作業における吸着割合

出荷容器	設定果実質量 (g)	供試果数 (果)	作業時間 (h)	吸着割合 (%)
24果入	13.7～16.2	5,148	12.7	99.6
30果入	9.5～10.7	5,784	9.8	99.0

おわりに

イチゴの選別パック詰め作業では､厳しい作業条件が大きく改善されることなく現在に至っている。その結果、イチゴの新品種が次々に登場し、市場ニーズが高まっているにもかかわらず、栽培面積は全国的に微減傾向にある。正にイチゴ生産のボトルネックといえるこの選別パック詰め作業の自動化が喫緊の課題であり、我が国のイチゴ生産の将来を左右すると考えられる。今後、開発したイチゴパック詰めロボットを組み込んだ選果ラインが全国の主産地に普及し、イチゴ生産の V 字回復、さらに農林水産省が提唱する攻めの農業の一助になることを期待したい。

なお、開発機の実用化に必要不可欠な現地試験の実施に当たっては、JA さが白石地区中央支所から多大なご協力とご助言を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

１）曹其新・他(1996) 植物工場学会誌, 8(4)： 228-236.

２）永田雅輝・他(1996)植物工場学会誌, 8(4)： 219-227.

３）永田雅輝・他(1997)農業機械学会誌, 59(1)： 43-48.

４）Bato, P.M., et.al. (2000)Journal of JSAM, 62(2)： 101-110.

５）山田久也・他(2009)照明学会誌, 93(5)： 273-277.

６）宮田和男(2002)農耕と園芸. 2002 年 8 月号, 109-112.

７）紺屋朋子・他(2010)農業機械学会誌, 72(1)： 80-85.

８）日吉健二・他(2002)第 61 回農業機械学会年次大会講演要旨, 287-288.

９）永田雅輝・(2000)第 59 回農業機械学会年次大会講演要旨, 103-104.

10) Hayashi, S., et.al.(2011)Biosystems engineering, 109: 348-356.

11) 加藤木保男(2002)特開 2002-52487.

12) 中村宣貴・他(2008)農業施設, 39(1)： 1-8.

13) Yamamoto, S., et.al.(2012)Applied Engineering in Agriculture 28(4)： 593-601.

14) 山本聡史・他(2011)農研機構生研センター2011 年研究成果情報

15) 山本聡史・他(2012)農研機構生研センター2012 年普及成果情報

乗用型トラクターの片ブレーキ防止装置の開発

特別研究チーム（安全）　志藤博克、積栄、岡田俊輔、塚本茂善、皆川啓子、
原田一郎、豊田成章、土師健、高橋弘行、篠原隆、
白垣龍徳（現農林水産政策研究所）、中村利男（現種苗管理センター）
共同研究実施会社　(株)IHI シバウラ、井関農機(株)、(株)クボタ、
三菱農機(株)、ヤンマー(株)

はじめに ····· 30
１．研究のねらい ····· 30
２．試作１号機の開発 ····· 30
１）片ブレーキを用いた作業の実態調査 ····· 30
２）片ブレーキ誤操作が疑われる事故の分析 ····· 32
３）片ブレーキ誤操作防止対策の検討 ····· 32
４）試作１号機の製作 ····· 33
５）試作１号機の課題抽出 ····· 34
３．試作２号機の開発 ····· 34
１）試作２号機の製作 ····· 34
２）試作２号機の課題抽出 ····· 35
４．最終試作機の開発と実用性評価 ····· 36
１）最終試作機の製作 ····· 36
２）最終試作機の実用性評価 ····· 37
３）実用化に向けての対応 ····· 37
おわりに ····· 38
参考文献 ····· 39

はじめに

平成 23 年の農作業死亡事故は 366 件（農林水産省）であり、30 年間の推移を見ると約 400 件前後と横ばい状態となっている。このうち、約７割が農業機械での作業中に発生しており、その中でも乗用トラクタによる事故は最多（123 件）で、農業機械での死亡事故の５割、農作業死亡事故の約３割を占めている。乗用トラクタの死亡事故形態で最も多いのが転落転倒であり、乗用トラクタ死亡事故の 76%を占めている。転落転倒事故の要因は様々に考えられるが、その一つに左右ブレーキの連結忘れによる誤操作が挙げられている。

１．研究のねらい

乗用トラクタには、作業時に切り返しをせずに小さな半径で効率的に旋回する等のため、左右の後輪別々にブレーキをかけられるようにブレーキペダルが２つ装備されている。片方のブレーキだけを踏む操作を「片ブレーキ」と呼んでいる。普段は左右のブレーキペダルは連結されており、片ブレーキが必要な作業の前に連結を外して片ブレーキ操作を行う。しかし、作業後、連結するのを忘れると誤って片方のブレーキのみを踏んだ場合、ハンドル操作をしなくても急旋回することがあり、道路等から転落して転倒する事故に繋がる可能性がある。

この種の事故を未然に防ぐ装置の必要性はかねてから言及されてきたが、事故発生の直接的な要因までを明らかにした全国的な詳細調査がなされておらず、片ブレーキ誤操作による事故の件数や発生割合、事故発生時の詳細状況が不明であったため、データに基づいた効果的な装置開発に着手することができなかった。しかし、多発する乗用トラクタの事故を低減する緊急性に鑑み、行政側からの要請をも受け､国内のトラクタメーカー５社と平成 23 年度からの３年計画とする共同開発に着手することとした。

２．試作１号機の開発

１）片ブレーキを用いた作業の実態調査

片ブレーキの使用状況や連結励行の実態を明らかにするため､全国 1200 の農業機械士を中心とした農家を対象にアンケート調査を実施した。調査は、農業機械士を通じて近隣の農家にも協力頂いた。質問内容は、年齢、性別、経営形態、ほ場環境、作目、片ブレーキを使う作業の種類、作業後のブレーキ連結励行の有無、片ブレーキ誤操作によるヒヤリ経験の有無等とした。

アンケート回収数は 268 件(回収率 22%)であった。回答者はすべて男性で平均年齢は 56 歳だった。回答者の作目は、水稲が 91%で最も多く、続いて麦・大豆 36%、露地野菜 33%だった。

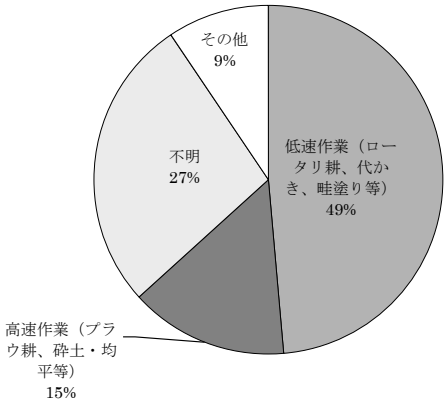


図１　速度別にみた片ブレーキ使用作業

片ブレーキを使用する作業は、ロータリ耕が 38%と最も多かったが、プラウ耕、代かき、畦塗り、ハローによる砕土均平、サブソイラ、ブロードキャスタによる施肥など、多岐に及んだ。作業速度が遅い作業と比較的高速で行う作業に分けると、ロータリ耕、代かき、畦塗りといった低速作業が約半数を占めた反面、プラウ耕、ハローでの砕土均平、ブロードキャスタによる施肥、ライムソワ、反転・集草といった高速作業も 15%を占めた（図１）。いずれの場合も、９割が旋回時に使うと回答したが、ハウス内でロータリ耕を行う際に、縁際に幅寄せするときに使う例や、畦塗りの幅寄せ、スリップしている側の後輪に片ブレーキを掛けてぬかるみから脱出する等の使用例も見られた。この他、作業以外でも狭い農道から狭い進入路に出入りする際に使う例や、ほ場外周の耕うんを開始する際のトラクタ向きの修正に使う例が見られた。

作業後のブレーキ連結の励行については、78%が「必要な作業のときだけ連結を外す」と回答した反面、「常に連結を外している」との回答が約１割あった。常に連結を外している理由については、「いちいち連結したり、外したりの操作が面倒だから」が 75%（15 件）で最も多く、「連結するのを忘れてしまうから」は 5%であった。

片ブレーキの誤操作によるヒヤリ経験が「ある」との回答は 26%であった。その回数は、２～３回が 68%と最も多かった。ヒヤリ経験の内容については、「ほ場から農道へ出ようとしたとき、トラクタの前輪が浮いたため、急いで止まろうと思った」、「道幅が狭いため、片ブレーキを使って旋回しようとしたが、速度が速すぎた」、「路上走行中、速度を落とすために急ブレーキを踏んだ」、「作業中、居眠り等により畦畔に気付くのが遅れたため、慌てて止まろうとした」等があった（表１）。

表１　ヒヤリ経験時のブレーキ操作の理由

ヒヤリ経験が発生した場面	ブレーキ操作の理由
ほ場から農道へ出ようとしたとき	トラクタの前輪が浮いたため、急いで止まろうと思った（10 件） 停止あるいは速度を緩めようと思った（6件） 道幅が狭いため、片ブレーキで旋回しようとした（3件） 方向を修正したかった（1件）
農道からほ場へ入ろうとしたとき	停止あるいは速度を緩めようと思った（3件） 道幅が狭いため、片ブレーキで旋回しようとした（1件）
路上走行中	停止あるいは速度を緩めようと思った（17 件）
ほ場内での作業中	居眠り等により畦畔に気付くのが遅れ、慌てて止まろうとした（2件） フロントローダで作業中だった（1件） トラクタの前輪が浮いたため、急いで止まろうと思った（1件）
その他	トラックに積むときに方向を変えるため（1件） できるだけ小さく旋回するため（1件）

２）片ブレーキ誤操作が疑われる事故の分析

ある県における 2006～2010 年の乗用トラクタの転落転倒事故の調査結果 28 件から、事故機体のブレーキが連結されていなかったことが確認されており、片ブレーキの誤操作が事故の要因と疑われる事例８件を抽出し、事故発生時の作業状況、事故現場の状況等について調査した。

これらの事例は、いずれも単独作業中の死亡事故であったため、片ブレーキの誤操作が直接的な事故要因とは断定できないが、事故はほ場への出入り時、移動時、作業時のいずれでも発生しており、これはアンケート調査のヒヤリ経験についての回答とも一致したことから、その可能性が十分に考えられた。事故は高速走行時だけでなく、低速走行時にも発生していることが伺えた。

抽出した事故事例を表２に示す。

表２　ブレーキ非連結が確認された事故事例（単位：件数）

事故発生時の行動	事故内容
移動時	農作業に向かう途中、土手下に転落（段差あり）
	町道を走行中、何らかの原因で機体が右旋回し道路下に転落（段差・傾斜あり） 下り坂を後進で下りた際、左後輪が段差に乗り上げ、右へ横転した（段差・傾斜あり） マニュアスプレッダをけん引して林道を下る際に土手に乗り上げ横転（傾斜あり）
ほ場出入り時	進入路から畑にトラクタごと転落（段差・傾斜あり）
作業時	畑を耕起しようとしたところ、土手に転落（段差あり） フレールモアで作業中、ほ場隅でバックして畦から転落（段差あり）
不明	農道脇の雑草を踏み倒す作業中（または移動中？）、路肩から転倒（段差あり）

３）片ブレーキ誤操作防止対策の検討

片ブレーキの誤操作を防ぐ方策として、トラクタが危険な状態を検知してブレーキが自動連結される、あるいは連結解除できなくする方式を検討した。しかし、片ブレーキ操作は低速時だけでなく高速時でも必要な場合がある上、事故も高速走行時に限らず低速走行時にも発生しており、平地や傾斜地の別、作業や移動の別なく発生していることから、片ブレーキ操作の危険の有無を

機械が明確に判別することは困難との結論に至った。

他の方式として、運転者が片ブレーキ操作を必要なときだけ、その都度、連結解除する方策が考えられた。この方策は、多様な場面で必要とされる片ブレーキ操作において運転者の意志が機械の動作に反映されやすくなる反面、片ブレーキ操作の煩雑性を可能な限り抑えるとともに、急制動時でも左右ブレーキの確実な連結状態を保持するというトレードオフの関係を高い次元で両立させる難度がある。しかし、この高い次元での両立が実現できれば効果が期待できると判断し、この方策で開発を進めることとした。

4）試作１号機の製作

試作１号機は、右足でブレーキ連結を解除する方式（右足解除方式）、左足でブレーキ連結を解除する方式（左足解除方式）、片ブレーキ専用ペダルと制動用ペダルを設けた方式（３ペダル方式）、左手で連結解除する方式（左手解除方式）の４方式、計８種類を製作した。

右足解除方式の A-1 型（図２、ベース機 16kW）は、右ブレーキペダルは右へ、左ブレーキペダルは左へスライドする構造であり、スライドさせると連結が解除され、その状態で踏み込むと片ブレーキになる。同じく D-1 型（図３、ベース機 23kW）は、左右のブレーキペダル上部に配置した連結解除ペダルを下方にスライドしてからブレーキペダルを踏み込むと片ブレーキ操作ができる。F-1 型（図４、ベース機 30kW）は、左ブレーキペダルの左側、右ブレーキペダルの右側に配置した連結解除レバーをスライドさせてからブレーキペダルを踏み込むと片ブレーキ操作ができる。いずれも足を離せば左右のブレーキペダルは自動で連結される。左足解除方式の B-1a 型（図５、ベース機 25kW）は、左足踵付近に配置した連結解除ペダルを踏むと左右ブレーキ連結が解除され、片ブレーキ操作が可能となる。C-1 型（図６、ベース機 32kW）および E-1a 型（図７、ベース機 27kW）は、連結解除ペダルが前方に配置されている。３ペダル方式の E-1b 型（図８、ベース機 39kW）は、片ブレーキ専用ペダル２つと制動用ペダルから構成され、左側前方の連結解除ペダルを踏むと片ブレーキ専用ペダルが左右別々に操作可能になる。制動用ペダルは、連結解除ペダルの操作の有無によらず左右両輪にブレーキがかけられる。左手解除方式の B-1b 型（図９、ベース機 25kW）は、前後進切り替えレバーを手前に持ち上げるとブレーキ連結が解除されるようになっている。

図２　右足解除方式（A-1 型）

図３　右足解除方式（D-1 型）

図４　右足解除方式（F-1 型）

図５　左足解除方式（B-1a 型）

図６　左足解除方式（C-1 型）

図７　左足解除方式（E-1a 型）

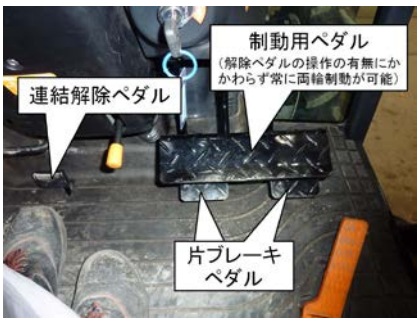


図８　３ペダル方式（E-1b 型）

図９　左手解除方式（B-1b 型）

５）試作１号機の課題抽出

附属農場にて、ロータリ作業を行ったときの片ブレーキの操作性、急制動時の連結の確実性、周囲の操作部等との干渉の有無の確認を農家や農場職員等 26 名で行った。その結果、片ブレーキの操作性については、右足解除方式と左足解除方式のいずれについても一定の評価は得たものの、操作力や操作量の大小、動作の円滑さ等に問題が指摘されており、いずれかの操作方式に絞り込むには至らなかった。３ペダル方式と左手解除方式では、他の方式に比べて操作の煩雑性や誤操作の多さへの指摘が多かった。急制動時の連結の確実性については、右足解除方式では、いずれの機種でもブレーキ連結が外れることがあったが、それ以外の方式では連結は外れなかった。

３．試作２号機の開発

１）試作２号機の製作

試作１号機の課題を踏まえ、制動時の連結確実性と片ブレーキ操作性の向上を狙った右足解除方式３種類、連結解除ペダルの大きさや操作力等を改善した左足解除方式４種類の試作２号機を製作した。右足解除方式の A-2 型（図 10）は、左片ブレーキの操作性向上のため、ブレーキペダルを若干右へ移動し、操作時の足の滑りを防ぐため、左右のブレーキペダルの踏面に約 15° 角度を付けた。さらに、急制動時の連結外れを防ぐため、ブレーキアーム回動部支点の嵌め合い精度を高め、スプリングのバネ定数の見直しを行った。同じく D-2a 型（図 11）は、連結解除ペダルを拡大するとともに、踏面に金属の滑り止めを設けた。また、連結解除ペダルを操作すると電子音を発するよう改良を加えた。F-2 型（図 12）は、急制動時の連結外れの問題を解決するため、連結解除レバーと一体のサブペダルをブレーキペダル踏面上に配置し、オペレータがサブペダルを

先に踏むと連結解除レバーがスライドしない構造とした。

左足解除方式の B-2 型（図 13）は、連結解除ペダルの操作性向上を図るため、ペダルの高さと操作力を半減し、ペダルの位置を目視せずに操作できるようフートプレートの左後方隅に配置するとともにペダルの横幅を拡大した。同じく左足解除方式の C-2 型（図 14）と E-2 型（図 15）は、連結解除操作時の動作の円滑化を図る等の改良を加えた。D-2b 型（図 16）は、新たに提案された方式で、左足内側で連結解除レバーを右へ回動することによって片ブレーキ操作が可能となる。

これらには、道路走行時における万一の操作ミスによる片ブレーキ誤操作を防ぐため、連結解除の可否を切り替えるレバー（以下、連結解除ペダルロックレバー）を運転者の手元に設置した。なお、B-2 型については、この装置に代わり、機関回転速度一杯の状態で 10km/h を超える速度段に入れると連結解除ペダルがロックされる機能を設けた。

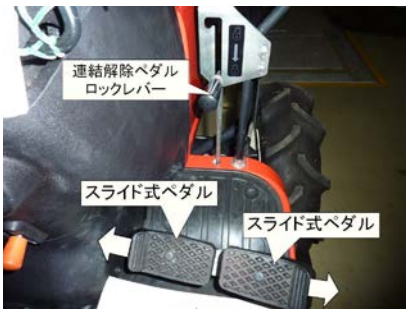


図 10　右足解除方式（A-2 型）

図 11　右足解除方式（D-2a 型）

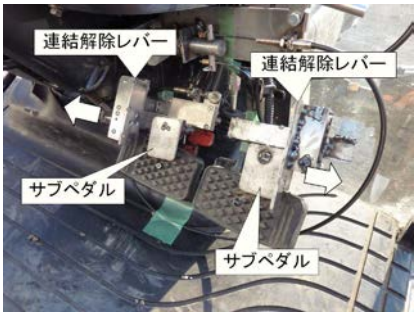


図 12　右足解除方式（F-2 型）

図 13　左足解除方式（B-2 型）

図 14　左足解除方式（C-2 型）

図 15　左足解除方式（D-2b 型）

図 16　左足解除方式（E-2 型）

２）試作２号機の課題抽出

１区画約 30×50m の試験区を７区設け、それぞれに各試作機を配置し、33 名の被験者によって

ロータリ耕を行い（一部、プラウ耕も実施）、旋回、幅寄せ、位置合わせといった片ブレーキの操作性を評価した。また、走行時を想定した急制動操作を行い、ブレーキ連結の確実性を評価した。作業時間は 20 分とした。さらに、右足解除方式の代表機として A-2 型、左足解除方式の代表機として E-2 型を供試し、トラクタ作業に精通した被験者２名により各６時間ずつロータリ耕を行い、操作性や不具合の有無について評価を行った。

試験の結果、各試作機とも一定の改良効果が認められたが、右足解除方式については、急制動時の連結の確実性を狙ったものの、どうしても連結が外れる危険性を払拭できず、安全性の面で左足解除方式を下回る結果となった。また、長時間作業における操作性においても、左足解除方式の方が疲労が少ないとの評価を得た。しかし、B-2 型ではプラウ耕で片ブレーキを直進時の機体姿勢の修正に使えない上、低速時で常に連結解除ペダルの操作を可能とすることへの懸念があった。C-2 型および E-2 型では、ハンドルチルトレバーと連結解除ペダルを踏み間違える、D-2b 型では連結解除レバーの操作がしづらい、といった課題が挙げられた。

４．最終試作機の開発と実用性評価

１）最終試作機の製作

最終試作機は、操作方式を左足解除方式に統一した。左足解除方式に統一するにあたって、小型トラクタ（ベース機では 16kW（22PS））で足元スペースが限られる A-3 型（図 17）では、クラッチと連結解除ペダルの干渉が避けられないため、連結解除ペダルの操作方向をクラッチと変える、クラッチと連結解除ペダルを同時に踏んでも、ブレーキ連結が外れる前にクラッチが切れるようにする等の対策を盛り込んだ。B-3 型（図 18）は、連結解除ペダルの操作の可否を速度で規制する方式を廃止し、他機種と同様、連結解除ペダルロックレバーを装備した。なお、PTO 変速レバーがハンドル直下に配置されている関係上、連結解除ペダルを左足踵側に配置した。C-3 型（図 19）、E-3 型（図 21）は、連結解除ペダルとの干渉を避けるため、ハンドルチルトレバー／ペダルの位置等を変更した。D-3 型（図 20）は、D-2b 型の評価に基づき、フートプレート中央部に配置した連結解除ペダルを前方へスライドする操作方式に改良した。

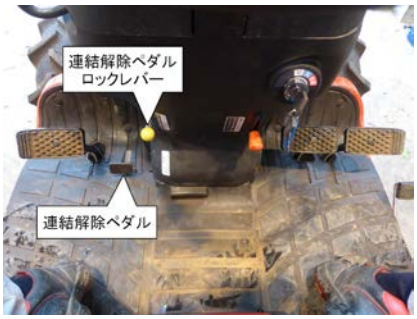


図 17　A-3 型（爪先側方式）

図 18　B-3 型（踵側方式）

図 19　C-3 型（爪先側方式）

図 20　D-3 型（爪先側方式）

図 21　E-3 型（爪先側方式）

2）最終試作機の実用性評価

最終試作機の実用性評価は、トラクタ作業精通者だけでなく、不慣れな被験者も含む 28 名によりロータリ耕を行うほ場試験に供試して行った。その結果、小型トラクタに搭載した A-3 型でクラッチ操作時に連結解除ペダルを一緒に踏むことがある点が課題とされた。そのような場合でも差し迫った危険が生じないよう配慮されてはいるが、一緒に踏んでしまうこと自体が危険、との評価であった。E-3 型についても少数ながら同様の意見が寄せられた。これに対しては、本試作機は既販機をベース機としているため、連結解除ペダルの配置に困難が伴ったが、設計当初から本装置の搭載を織り込むことにより、十分に対応可能と判断された。

それ以外については、連結解除ペダルを他のペダルと違う色にして欲しい等の要望が寄せられたものの、ほぼ実用レベルとの評価を得た（表３）。しかし、爪先側方式と踵側方式が混在すると、どちらかに慣れた運転者にとっては誤操作を引き起こすことに繋がる懸念が示された。

表３　最終試作機の評価*1　　**（単位：%）**

	爪先側方式				踵側方式
	A-3 型	C-3 型	D-3 型	E-3 型	B-3 型
実用レベル*2	39	46	64	89	19
ほぼ実用レベル*3	50	54	36	7	81
改良すれば実用レベル*4	11	0	0	4	0
実用的でない	0	0	0	0	0

*1　被験者 28 名（参画企業担当者を除く）の評価
*2　そのままの状態でよしとするレベル
*3　連結解除ペダルの色を変える等の軽微な改良で済むレベル
*4　連結解除ペダルの位置を再検討する等の比較的重要な改良が必要なレベル

3）実用化に向けての対応

実用化に向けて小型トラクタに搭載するにあたっては、連結解除ペダルはクラッチと一緒に踏む可能性がない位置に配置することを要件とした。新機種の設計にあたっては、連結解除ペダルの配置に配慮する必要がある。また、連結解除ペダルの位置については、誤操作を防止す

るための装置が新たな誤操作を生じることがあってはならない、との開発当初の理念に基づき、片ブレーキの操作性で評価を上回った爪先型方式に統一する方向で検討することとした。さらに、本装置は安全鑑定における確認対象となることから、その基準を満たすため、操作部の名称や操作方向を明示することとし、連結解除ペダルロックレバーを解除位置に操作すると表示ランプが赤色点灯する等の対応を図ることとしている。実用機のイメージを図 22、操作方法のフロー図を図 23 に示す。

本開発装置は、2014 年度以降、各参画企業より対応可能な新機種から標準装備される予定である。

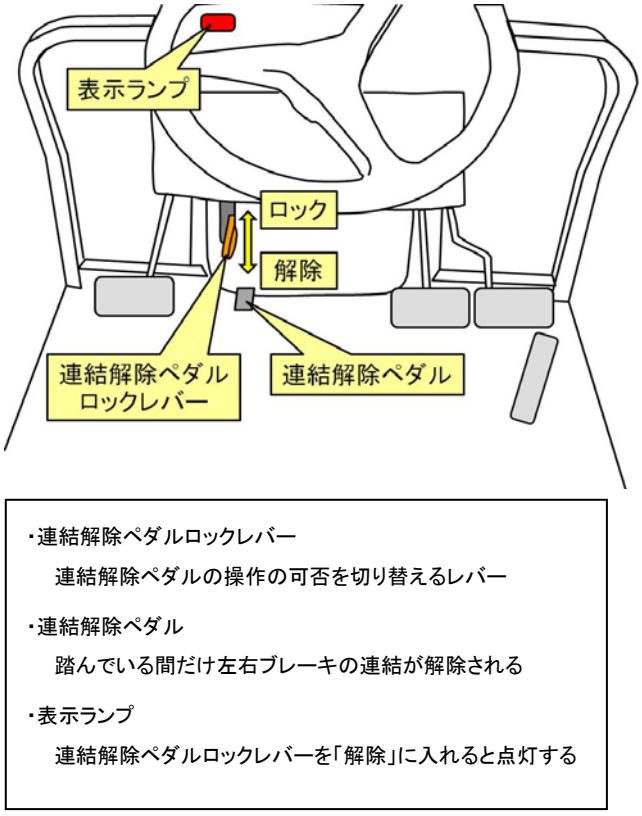


図 22　開発装置の市販機のイメージ

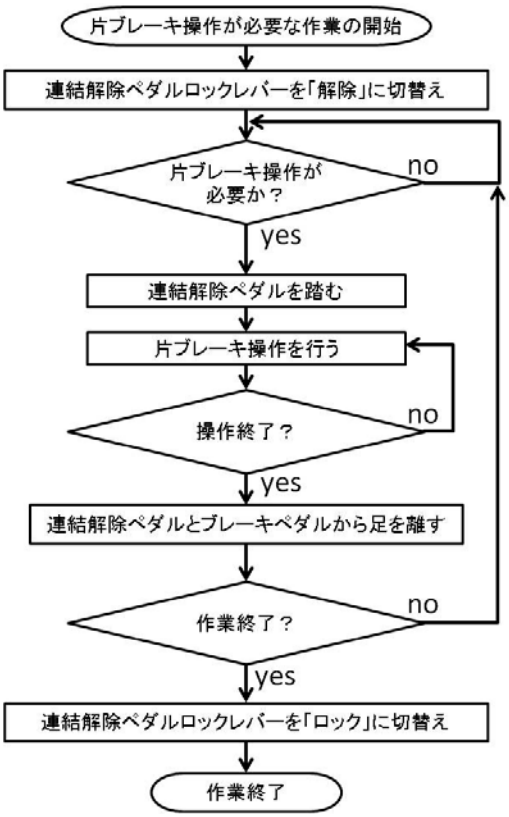


図 23　開発装置の操作方法のフロー図

おわりに

誤操作を防止するためには、どうしても操作性を損なうことが伴う。安全一辺倒で操作性が低ければ、折角の装置が外されたり、改造される等の無効化を招くことになり、かえって危険になりかねないため、安全性を確保するためにも、できるだけ操作性を高める必要がある。「完璧な安全装置は存在しない」といわれる所以である。本装置の開発にあたっても、操作性にはできるだけの配慮をしてきたが、農業者に広く受け入れて頂き、円滑に普及が進むことを祈るばかりである。

アンケート実施にあたっては、一般社団法人日本農業機械化協会ならびに全国農業機械士協議会のご協力を賜った。ほ場試験の実施にあたっては、農林水産省農林水産研修所つくば館水戸ほ場ならび

に埼玉県農林総合研究センターにご協力を賜った。記して感謝の意を表する。

参考文献

1）志藤ら、乗用トラクタの片ブレーキの使用実態と転倒事故調査、農業環境工学関連学会 2012 年合同大会講演要旨、2012.9

2）皆川ら、乗用トラクタの片ブレーキ防止装置の開発（第 1 報）、農業食料工学会第 72 回年次大会講演要旨、2013.8

3)志藤ら､乗用型トラクタの片ブレーキ防止装置の開発､平成 23 年度試験研究成績(生研センター)、43-53

4)志藤ら､乗用型トラクタの片ブレーキ防止装置の開発､平成 24 年度試験研究成績(生研センター)、33-41

自脱コンバインの手こぎ部の緊急即時停止装置の開発

特別研究チーム（安全）　志藤博克、積栄、岡田俊輔、堀尾光広、山﨑裕文、
冨田宗樹、杉浦泰郎、高橋弘行、篠原隆、
白垣龍徳（現農林水産政策研究所）、中村利男（現種苗管理センター）
共同研究実施会社　井関農機(株)、(株)クボタ、三菱農機(株)、
ヤンマー(株)

はじめに ····· 42

１．研究のねらい ····· 42

２．試作１号機の開発 ····· 42

１）手こぎ作業の実態調査 ····· 42

２）手こぎ作業時の事故の分析 ····· 44

３）試作１号機の製作 ····· 44

４）試作１号機の課題抽出 ····· 46

３．試作２号機の開発 ····· 48

１）試作２号機の製作 ····· 48

２）試作２号機の課題抽出 ····· 49

４．最終試作機の開発と実用性評価 ····· 49

１）最終試作機の製作 ····· 49

２）最終試作機の実用性評価と実用化に向けての対応 ····· 50

おわりに ····· 51

参考文献 ····· 51

はじめに

自脱コンバイン（以下、コンバイン）によるイネ収穫作業では、コンバインで刈りきれないほ場隅などを手刈りする必要がある。最近では、畦畔が低かったり、ほ場周囲に障害物がない場合は、コンバインのヘッダを上げて「高刈り」することで手刈りを省略するという農家もある。しかし、畦畔が高いほ場や電柱等の障害物があるほ場では高刈りで対応することはできない。コンバインで刈れない部分には栽植しない方法もあるが、雑草の繁茂等の問題もある。また、全面刈りができないタイプの２条刈りコンバインでは、ほ場の外周１列分を手刈りせざるを得ず、手こぎ作業は必須となっている。手刈りしたイネは、コンバイン左側部の脱穀部入口に手作業で供給する手こぎ作業を行って脱穀するが、このときに軍手等を着用していたり、作業着の袖口を詰めていなかったりするとフィードチェーンに引っかかり、手腕部が脱穀部に巻き込まれる危険がある。そもそも、産業用機械では、危険部に作業者の手が届く構造であってはならないことが機械安全に関する規格にも定められているが、コンバインの場合、構造上、そのような対策を講じると手こぎ作業の能率が低下するなどの支障をきたすため、やむなく次善の策として原動機緊急停止装置が備えられている。

１．研究のねらい

コンバインでは、1999 年度の安全鑑定基準改正により、原動機緊急停止装置が義務付けられた。これにより、脱穀部での巻き込まれ事故件数に占める、通院が必要な程度のケガの発生割合が 15%と、基準改正前の 50%から大幅に低減した。しかし、入院が必要な程度のケガの発生割合は基準改正前の 18%に対して 15%までの低減に止まっている。これは、装置の作動から完全に停止するまでに作動部が慣性によって動き続け、特に大型コンバインでは 1.4m もフィードチェーンが動くため、巻き込まれた手がこぎ胴に達して受傷度合いが酷くなるものと考えられた。これまでも、本装置のより一層の安全性向上が必要とされてきたが、負傷事故に関する全国的な調査は行われておらず、手こぎ作業時の巻き込まれ事故の実態は定かではなかったため、具体的な装置改良には至っていなかった。しかし、農作業事故を低減する緊急性に鑑み、また、行政側からの要請も受け、国内のコンバインメーカー４社と 2011 年度からの３年計画で手こぎ作業時の重傷事故の低減化に向けた開発に着手した。

２．試作１号機の開発

１）手こぎ作業の実態調査

手こぎ作業の実態や手こぎ作業時のヒヤリハット経験を明らかにするため、全国 1200 の農業機械士を中心とした農家を対象にアンケート調査を実施した。調査は、農業機械士を通じて近隣の農家にも協力頂いた。質問内容は、年齢、性別、経営形態、ほ場環境、作目、手こぎ作業の有無と実施状況、手こぎ作業の今後について、手こぎ作業時の巻き込まれ経験あるいはヒヤリハット経験の有無、巻き込まれ経験あるいはヒヤリハット経験の状況等とした。

アンケート回収数は 255 件（回収率 21%）であった。回答者はすべて男性で平均年齢は 56 歳であり、経営面積の中央値は 4.9ha だった。回答者の 78%が「現在、手こぎ作業を行っている」

と回答した（図１）。手こぎ作業の実施状況については、「すべての田で行っている」が最も多く 76%、「狭い田や障害物のある田などだけで行っている」も合わせると９割を超えた（図２）。手こぎをしている回答者が枕地にも移植する理由については、「雑草が生えないようにするため」が 47%と最も多く、「収量を多くするため」が 34%、「近所の目が気になるため」が 12%と続いた。手こぎ作業を今後も続けるかどうかについては、「枕刈りは不可欠なので今後とも行う」が 72%と、「今後はできるだけ手こぎ作業をしないようにしたい」の 25%を大きく引き離した（図３）。

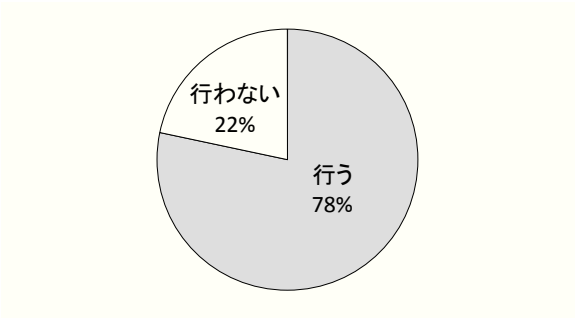


図１　手こぎ作業実施の有無

（有効回答数 240 件）

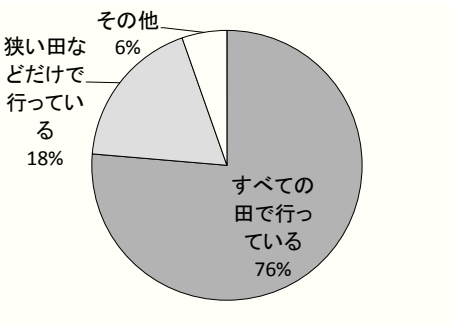


図２　手こぎ作業実施状況

（有効回答数 186 件）

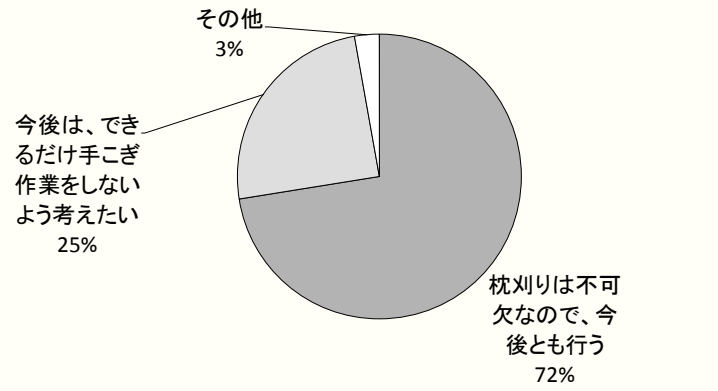


図３　手こぎ作業の今後の意向

（有効回答数 178 件）

巻き込まれそうになった、あるいは巻き込まれた経験があるとの回答は、共同作業者の場合も含めて有効回答数 183 件中、17%（31 件）であった（図４）。巻き込まれそうになった、あるいは巻き込まれた原因については、「手袋がフィードチェーンにひっかかった」が 24%と最も多く、「脱穀部入り口付近に残った穂を脱穀部に入れようとした」が 20%、「詰まったため、押し込もうとした、あるいは取ろうとした」が 18%であった。挟まれた手の解放方法については、「無理矢理引き抜いた」が 55%と最も多かった（図５）。その時に使っていたコンバインは２条刈りが最も多かった。

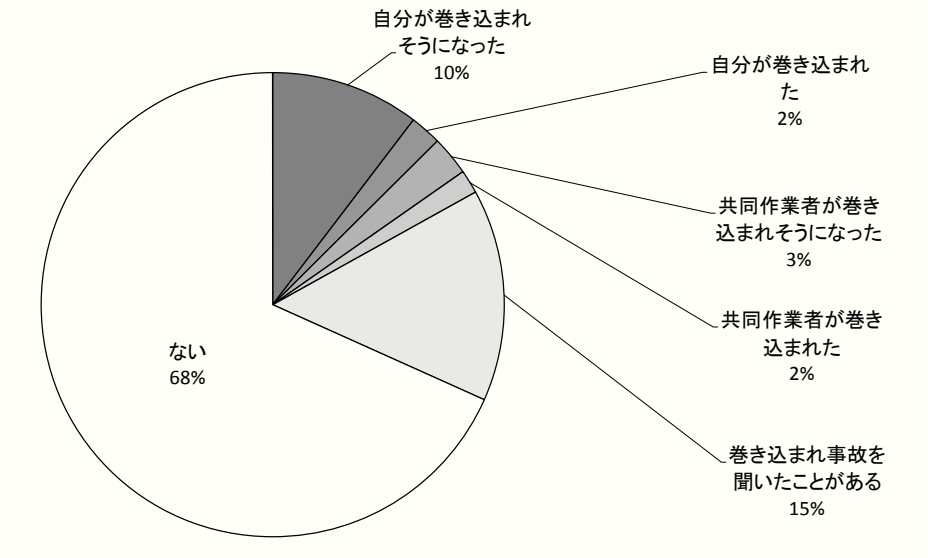


図４　ヒヤリハット経験／巻き込まれ経験の有無（有効回答数 183 件）

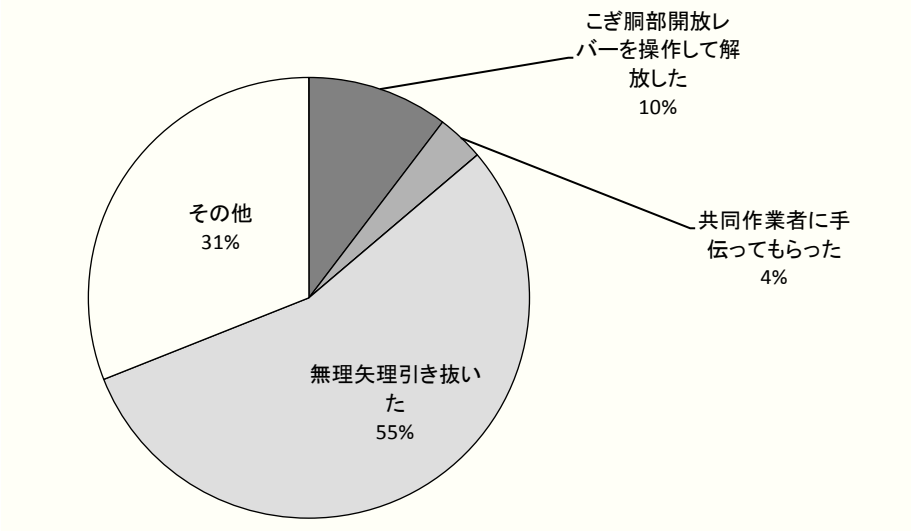


図５　巻き込まれた手の解放方法

（有効回答数 29 件）

２）手こぎ作業時の事故の分析

平成 11～14 年に農林水産省が行った負傷事故調査では、自脱コンバインの事故事例は４年間で 637 件あった。そのうち、手こぎ作業時の巻き込まれ事故は 51 件（８%）で、右手の負傷が５件（10%）、左手が 18 件（35%）、不明が 28 件（55%）であり、どちらの手も負傷するケースがあったことが確認された。また、手袋がフィードチェーンに引っかかったことが明確であった事例は４件あった。

３）試作１号機の製作

上記調査結果と安全に関する規格等に基づき、開発装置の要件を「フィードチェーン停止距離が、噛み込み点からこぎ胴最前列こぎ歯前端までの距離よりも短いこと」を始めとする５項目に

まとめた（表２）。また、噛み込み点については、掌から肩までの部位がフィードチェーンに挟まれた場合に指がこぎ胴で負傷すること、挟まれる部位の厚さが小さい程、フィードチェーン上のこぎ胴に近い位置で挟まれることから、この範囲で最も寸法が小さい掌がフィードチェーンと挟やく桿の間に挟まれることを想定した。そこで、掌の人体寸法データ等を参考にして、フィードチェーンのプレート水平部から挟やく桿下端までの距離が 20㎜になるところを噛み込み点と定義した（図６）。また、チェーンプレートに水平部がない場合は、チェーンプレートの突起部の付け根部分が交錯する谷の部分から挟やく桿下端までの距離が 20㎜となる位置とした。「緊急停止ボタンは、解除操作をしないと復帰しない構造であること」と「NC（ノーマルクローズ）接点の緊急停止ボタンを用いること」については、緊急停止装置に関する安全規格に準拠したものである。「こぎ胴カバーは片方の手で開放できること」については、これまでの研究で市販機の中には片手で開放操作ができないものがあることが確認されており、アンケート調査でも挟まれた手を無理矢理引き抜いた事例が多かったことを反映して要件に取り入れた。

なお、アンケート調査では手こぎ作業時の巻き込まれヒヤリハット経験は小型コンバインの方が多かったが、こぎ胴を始めとする作業部の慣性が大きく、即時停止に不利と思われる４～６条刈の中大型コンバインを試作１号機のベース機とすることとした。

表２　開発装置の要件

要　件	理　由	参照した規格等
フィードチェーン停止距離が、噛み込み点からこぎ胴最前列こぎ歯前端までの距離よりも短いこと	こぎ胴に達する前にフィードチェーンを停止し、巻き込まれた手の重症化を防ぐため	噛み込み点：ISO 13857:2008、日本人の人体計測データベース 1992-1994
緊急停止ボタンは、解除操作をしないと復帰しない構造であること	運転者が気付かずに再始動することを防ぐため	JIS B 9703:2000（ISO 13850:2006）、JIS B 9700-2:2004
こぎ胴カバーは片方の手で開放できること	挟まれた手をもう片方の手でレバーを操作して解放するため	JIS B 9703:2000（ISO 13850:2006）
NC 接点の緊急停止ボタンを用いること	断線等、装置が故障した場合はエンジンを始動できなくするため	JIS C 8201-5-5 : 2008 （ IEC 60947-5-5:2005）
緊急停止ボタンは操作し易く、見易い位置に配置すること	身長によらず操作し易くするため	JIS B 9706-1:2009（IEC 62301-1:2005）

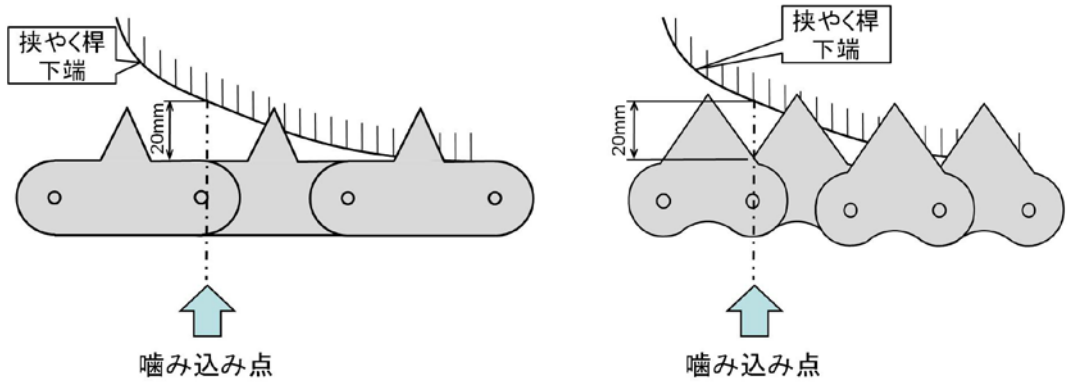


図６　噛み込み点の定義

（左：チェーンプレートに水平部がある場合、右：チェーンプレートに水平部がない場合）

４）試作１号機の課題抽出

(1)フィードチェーン停止距離の測定

製作した４台の試作１号機（A-1 型～D-1 型）のフィードチェーン停止距離を測定した（図７）。停止距離は、回転計（小野測器 EC-2100）で緊急停止ボタンの操作から停止までの駆動スプロケットの回転回数を測定し、スプロケット歯数とチェーンピッチから算出した。この停止距離が噛み込み点からこぎ胴突起物前端までの距離（以下、基準距離という）以内に収まるかどうかを判定した。試験は、手こぎ作業時の定格機関回転速度、無負荷状態で行い、停止距離は３回測定した値の平均値とした。

フィードチェーン停止距離は、各試作機とも基準距離以内に収まり、開発要件を満たした。しかし、こぎ胴まで最も余裕があったものでも、こぎ歯到達までの時間に換算すると約 0.4s（停止までのフィードチェーン搬送速度が一定と仮定）しか余裕がないことが明らかとなった。そのため、フィードチェーン動力遮断機構の動作の迅速化による停止距離のさらなる短縮、フィードチェーン搬送速度の低減、基準距離の延長等を検討する必要があると考えられた。

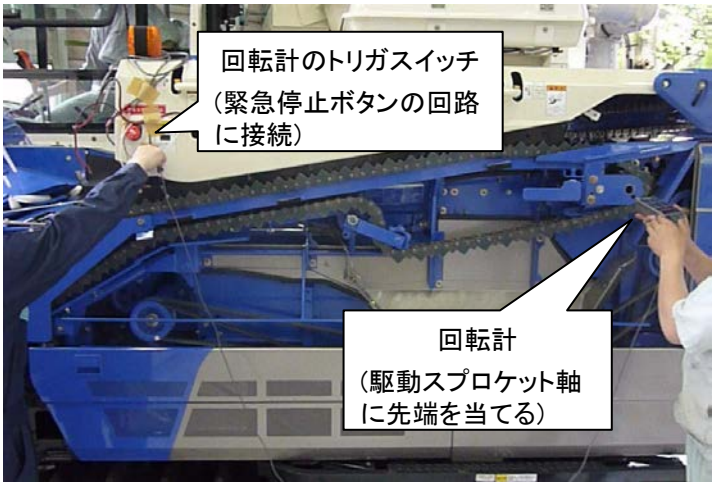


図7　フィードチェーン停止距離測定試験風景

(2)こぎ胴カバー開放レバーの操作力測定

片手でこぎ胴カバーのロックを外せるかを確認するため、各試作機のこぎ胴カバー開放レバー（以下、レバー）の操作力（ロック解除に要する力）をプッシュプルゲージ（IMADA DS2-500N）で測定した。測定位置は、レバー握りの中央部とし、３回測定したときの平均値を操作力とした。

各試作機のレバー操作力は、平均 146N（98～189N）だった（表３）。ちなみに、２条刈から６条刈までの市販機 20 型式のレバーの操作力を調査した結果では、平均 98N（31～321N）であったが、４条刈以上の平均値は 122N（31～321N）であったことから、試作１号機のレバーの操作力は市販機とほぼ同等であることが確認された。

表3 試作1号機のこぎ胴開放レバー操作力測定結果

	A-1 型（６条）	B-1 型（６条）	C-1 型（５条）	D-1 型（４条）
操作力（N）	189	98	185	112
標準偏差	3.2	3.5	7.0	9.5

(3)女性のレバー持ち上げ力の測定

上記のレバー操作力が女性作業者にとっても妥当であるかを確認するため、平均年齢 48 歳（20～63 歳）、平均身長 159cm（147～170cm）の女性被験者 40 名がこぎ胴カバー開放レバーを持ち上げる力（以下、レバー持ち上げ力という）を測定した。測定には、ロードセル（共和電業 LSM-B-SA1、容量 500N）を内蔵した測定装置（図８）を製作して用いた。握りの高さは、被験者の肩峰高に肘頭・握り軸距離を加えた高さを基準点とし、その±5、±10、±15%の高さを含めた計７点とした（図９）。把持部の高さを変えるため、レバー持ち上げ力測定装置は原則として固定とし、被験者を昇降台に載せて調節した(図 10)。測定は左右の腕で行った。

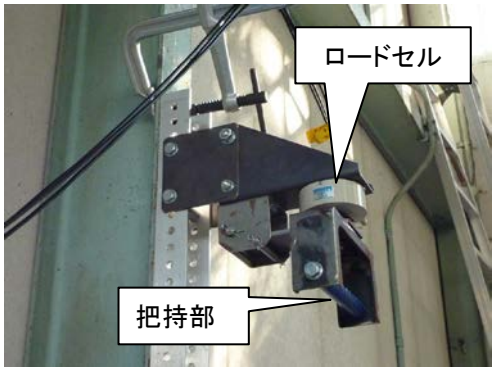


図8 レバー持ち上げ力測定装置

なお、肩峰高、肘頭・握り軸距離は、「設計のための人体計測マニュアル」（人間生活工学研究センター）に準じて被験者ごとに測定した。

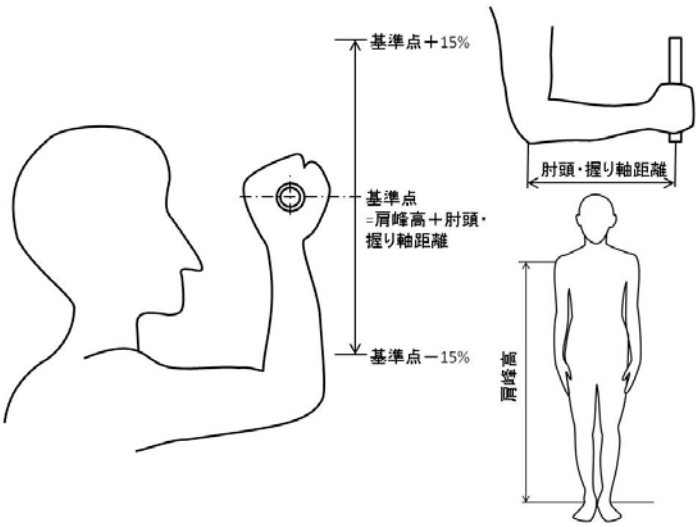


図9 レバー持ち上げ力測定時の把持部高さの設定

女性被験者のレバー持ち上げ力は、基準点高さ（1460～1750mm）の前後で最小となる傾向を示し（図 11）、利き腕ではない腕（逆腕）での最小値の平均は 85N であった。このことから、現状のレバー操作力では、過半数の女性被験者には操作できないことが明らかになった。しかも、ほとんどの被験者が出し得る力のレベルは 50～60N であったこと、また、実際の女性農業者平均年齢は被験者の平均年齢よりも高く、レバー持ち上げ力も今回の結果を上回る可能性は低いことを考慮すると、レバー操作力は 50～60N 程度とすることが必要と考えられた。

図 10　レバー持ち上げ力測定試験風景

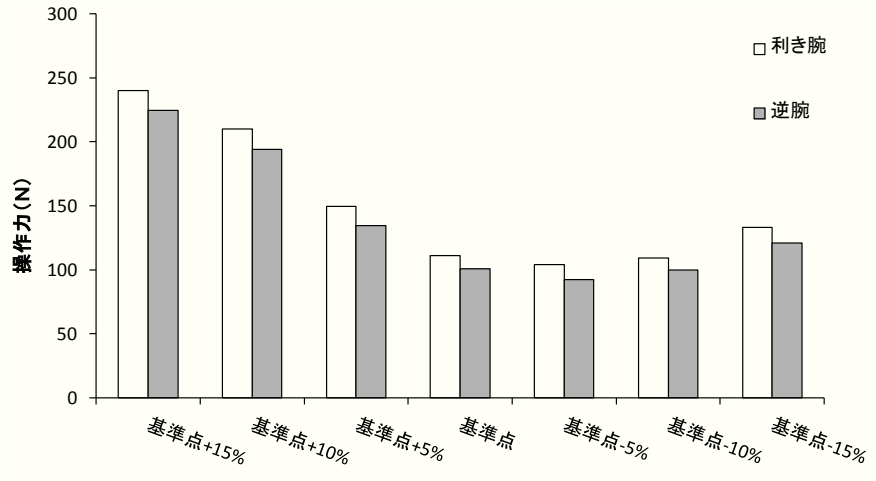


図 11　女性被験者のレバー持ち上げ力測定結果（平均値）

３．試作２号機の開発

１）試作２号機の製作

試作１号機のフィードチェーン停止距離は、各機とも基準距離以内に収まったが、必ずしも十分ではないことが認められた。停止距離の短縮化を図るためには、動力伝達部を遮断する制御系の動作速度を向上させることが考えられるが、大きな時間短縮は期待できない。また、フィードチェーンの搬送速度を遅くすることで慣性を抑えることも考えられるが、試作１号機ですでに刈り取り作業時よりも搬送速度を落としており、さらに低下させると振動の発生や脱穀性能への影響が懸念された。基準距離の拡大による余裕の確保についても、車体寸法等の制約から限界があり、十分な効果は期待できないと考えられた。そこで、試作２号機にはこぎ胴にブレーキを設け、即時停止機能を付加することとした。

また、レバー操作力を 50～60N とすると、作業中の振動でこぎ胴カバーのロックが外れることが懸念されたことから、緊急停止ボタンの操作によってこぎ胴カバーあるいは挟やく桿が開放さ

れる機能を付加することとした。

さらに、巻き込まれる危険を生じない方式（両手操作型）も併せて検討することとした。具体的には、手こぎ部に置いたイネを手こぎ操作ハンドルでフィードチェーンに押さえつけるとともに、左手で操作ボタンを押すと、その間だけフィードチェーンが駆動し、どちらか一方から手を離すと停止する方式とすることとした。

2）試作2号機の課題抽出

試作1号機での試験と同様に、フィードチェーン停止距離を測定した結果、2号機でも基準距離以内に停止することが確認されたが、試作1号機とほぼ同じか若干短縮した程度だった。こぎ胴ブレーキは、期待した効果が認められず、コストパフォーマンスの面で実用的ではないと判断された。一方、こぎ胴カバーならびに挟やく桿の開放機能は、挟まれた手を速やかに抜くことができる見通しが得られ、こぎ胴ブレーキを装備しなくても重傷化を防ぐ効果が期待された。

両手操作型は、手が巻き込まれる恐れがないことが確認されたが、作業能率の低下が懸念された。また、巻き込まれる恐れがないことから、JIS B 9703 に準拠しない緊急停止ボタンを使用していたが、危険性の大小に係わらず JIS B 9703 に準拠する必要性が認められた。

なお、いずれの試作機も、緊急停止後の復帰操作を異なる手順で行うと、エンジンを再起動できない等の不具合が認められたため、手順に関係なく各部の機能が復帰するよう制御プログラムを改良する必要が認められた。

4．最終試作機の開発と実用性評価

1）最終試作機の製作

試作2号機の課題を踏まえ、以下の3方式の最終試作機を製作した。通常作業型（図 12、13）は、従来通りの方法で手こぎ作業を行う方式で、緊急停止ボタンを操作すると、エンジン停止、フィードチェーンの即時停止、こぎ胴カバーあるいは挟やく桿の開放を行う。

片手操作型（図 14）は、通常作業型に新たな機能を追加したタイプで、手こぎ部に配置したイネ載せバーを手前に倒すと手こぎモードに切り替わり、左手で操作ボタンを押すとフィードチェーンが駆動し、イネ載せバーに載せたイネを右手で供給して作業する。操作ボタンから手を離すとフィードチェーンは即時停止する。さらに、緊急停止ボタンを押すとエンジンも停止するとともにこぎ胴カバーが開放する。

両手操作型（図 15）は、試作2号機と同じ作業方法とし、JIS B 9703 に準拠した緊急停止ボタンを装備した。

図 12　通常作業型（こぎ胴カバー開放式）
（こぎ胴カバーが開放した状態）

図 13　通常作業型（挟やく桿開放式）
（挟やく桿が開放した状態）

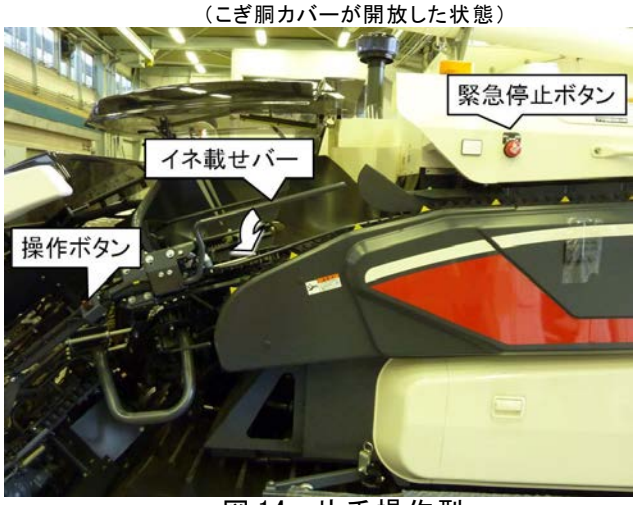


図 14　片手操作型
（こぎ胴カバーが開放した状態）

図 15　両手操作型

２）最終試作機の実用性評価と実用化に向けての対応

フィードチェーン停止距離を測定した結果、いずれも基準距離以内に停止できることが確認された（表４）。通常作業型については、こぎ胴カバーあるいは挟やく桿の開放機能も試作２号機と同様、挟まれた手を直ちに抜き取ることができると判断され、こぎ胴ブレーキを廃止したことによる問題は特に認められなかった。片手操作型と両手操作型については、実際に手こぎ作業を行い、作業性を確認した。その結果、片手操作型は、右手だけでイネを供給する作業にやや難が認められたため、市販化に向けては、このまま左手の操作ボタンを搭載するか、これを廃止して通常作業型とするか検討することとした。両手操作型は、従来の手こぎ作業よりも若干能率が低下するものの、作業性に大きな問題は認められなかった。いずれの試作機も、試作２号機で課題とされた復帰操作手順の違いによる不具合は解消されていることが確認された。

以上の結果を踏まえ、市販化する際に必要な要件を表５にまとめた。本開発装置は、2014 年度以降、各参画企業より対応可能な新機種から標準装備される予定である。

表４　最終試作機のフィードチェーン停止距離

	通常作業型		片手操作型	両手操作型
	こぎ胴カバー開放型（6条）	挟やく桿開放型（4条）	（6条）	（4条）
基準距離（mm）	250	240	283	480
緊急停止ボタン操作から停止するまでの空走距離（mm）	100	146	67	266
フィードチェーン搬送速度（m/s）	0.43	0.65	0.33	0.44

表５ 開発装置の市販化にあたっての要件

- フィードチェーンは、基準距離以内に停止すること。
- 緊急停止ボタンの操作により、こぎ胴カバーあるいは挟やく桿が開放されること。または、手が巻き込まれる恐れがない手こぎ作業方法とすること。
- 手こぎ作業時は、フィードチェーン搬送速度が低下するモードとなることとし、それ以外の状態では手こぎ作業ができないよう対策を図ること。
- 手が巻き込まれる恐れがない方式、および手こぎ作業時にフィードチェーン搬送速度が低下する機能は、無効化されないよう対策を図ること。
- 緊急停止ボタンは、NC 接点とし、解除操作をしないと復帰しない構造であること。
- 緊急停止ボタンの背景は黄色とすること。
- 緊急停止ボタンは、ボタンの上端が地上高 1700mm 以下となる位置に配置すること。

おわりに

本装置の開発により、従来の手こぎ作業よりも一歩、安全性が向上するものと期待されるが、手こぎ作業時の巻き込まれ事故を撲滅するためには、巻き込まれる前に機械がこれを検知して即時停止する装置、さらには、手こぎ作業が不要なコンバインの開発へと、本来あるべき作業安全の実現に向けて歩を進めなければならない。安全にゴールはないのである。

アンケート実施にあたっては、一般社団法人日本農業機械化協会ならびに全国農業機械士協議会のご協力を賜った。記して感謝の意を表する。

参考文献

１）（社）人間生活工学研究センター、『日本人の人体寸法データブック 2004-2006』、2009

２）山﨑裕文・岡田俊輔・堀尾光広・志藤博克・積栄：自脱コンバインこぎ胴開放レバーの操作力に関する基礎的研究、平成 24 年度農作業学会年次大会講演要旨、27-28、2013

３）志藤ら、自脱コンバインの手こぎ部の緊急即時停止装置の開発、平成 23 年度試験研究成績（生研センター）、55-66

４）志藤ら、自脱コンバインの手こぎ部の緊急即時停止装置、平成 24 年度試験研究成績（生研センター）、43-50

携帯型植物水分情報測定装置の開発

基礎技術研究部　中山夏希、吉永慶太、窪田陽介（現神戸大学）、山下貴史、
小林　研、重松健太（現生産システム研究部）
農研機構近畿中国四国農業研究センター　星　典宏、根角博久

はじめに ····· 54

１．携帯型植物水分情報測定装置の開発 ····· 54
１）ヤング率の算出式および計測項目 ····· 54
２）開発機の概要 ····· 55
３）開発機のヤング率の算出方法 ····· 56
４）計測方法および流れ ····· 57
５）開発機の特徴 ····· 57
６）性能試験 ····· 57
(1) 材料および方法 ····· 57
(2) 結果 ····· 57

２．利用条件の検討 ····· 58
１）年次間差の調査 ····· 58
(1) 材料および方法 ····· 58
(2) 結果 ····· 58
２）利用可能な期間の調査 ····· 59
(1) 材料および方法 ····· 59
(2) 結果 ····· 59
３）利用条件および方法のまとめ ····· 60

おわりに ····· 60

参考文献 ····· 61

はじめに

ウンシュウミカン（Citrus unshiu Marcow.）の栽培では、プラスティックフィルムによるマルチングを行う栽培方法（山田ら、1990）が普及している。さらにマルチと点滴灌水施肥を組み合わせ、養水分を制御する周年マルチ点滴灌水同時施肥法（森永ら、2004）といった、樹体に適度な水ストレスを与えて果実の糖度を高める高品質果実の栽培技術が普及段階にある。これら技術の水分管理では、適切な水ストレスを保つための灌水時期を迅速かつ正確に判断するための測定技術が求められている。現状の水ストレスを測定または判断する方法としては、葉の巻き具合等の植物体の状態を目視観察する方法が挙げられるが、栽培者の熟練技術が必要とされるとともに客観的な基準値が設定し難い。また、測定機器を利用して数値化する方法には、間接指標として土壌水分を測定する方法、水ストレスの指標として用いられる葉の水ポテンシャル（以下、WP）を測定する方法（間苧谷ら、1980）がある。高品質果実栽培については、日の出前の葉の WP を-0.7～-1.0MPa 程度に灌水管理することによって達成される知見等が報告されている。

しかしながら、現状の水ストレスの判断方法は、様々な問題点を有している。例えば、土壌水分を計測する方法では、ウンシュウミカンのような根域が広く深い樹体の場合、土壌水分と樹体内水分が必ずしも一致せず、正確に水ストレスを判断することは困難である。一方、樹体内水分としての WP を測定するプレッシャチャンバ法は、専用の測定装置と窒素ガスが必要であるため、園地への持ち込みが困難であり、また、破壊計測であるため樹体の葉を直接計測することはできない。また計測が煩雑であるとともに経験が必要とされるといった難点がある。

そこで、本研究では、園地で非熟練者でも迅速かつ簡易に非破壊で樹体の水ストレスを判定可能な方法として、ミカン葉を対象に、葉の硬さの程度を示すヤング率（弾性率）を用いて、間接的に WP を推定する方式を提案した。ヤング率と WP の関係は、ジャガイモ塊茎にて相関があることが示されている（村瀬、1981）。本研究では、ミカン葉を対象として基礎試験を行い、室内の材料試験機を用いて計測したヤング率とプレッシャチャンバによる WP との関係を調査した結果、両者に相関があることを確認している。さらに、園地でヤング率計測から WP の推定が可能な携帯型植物水分情報測定装置（以下、開発機）の開発を行った。本報告では、開発機の概要および性能試験結果、利用条件について報告する。

１．携帯型植物水分情報測定装置の開発

１）ヤング率の算出式および計測項目

本装置では、材料試験機等の圧縮試験により得られるヤング率から WP を推定する方式を用いている。そのため、まず始めに、ヤング率の算出式を示し、計測項目を以下に示した。

・ヤング率[N/m^2] ＝ 応力[N/m^2] / ひずみ

・応力[N/m^2] ＝ 荷重[N] / 面積[m^2]

・ひずみ ＝ 変形した長さ（圧縮した長さ） / 力を与える前の長さ（葉厚）

上記のヤング率算出にあたり計測する項目は荷重、圧縮した長さ、葉厚の３点が必要とされる。

２）開発機の概要

開発機の構成および外観、諸元を図１、２、表１に示す。開発機は、センサユニットと制御ユニットから構成される。センサユニットは、突起部φ2.5mm のロードセルおよびリニアアクチュエータを内蔵し、また計測結果を表示する液晶画面を取り付けた。制御ユニットは、モータ制御および計算処理用のマイコン、データ保存用の SD カード、リチウムポリマバッテリ等から構成される。装置の電源には、軽量なリチウムポリマバッテリ（容量：1100mAh、電圧：24V）を用いた。迅速かつ精度良く計測を行うため、リニアアクチュエータの動作速度を３段階設定した。すなわち、ミカン葉付近まで 2.0mm/s の早い速度で移動し、ミカン葉に接し荷重が増加すると 1.0mm/s に減速し、葉厚算出時の基準値（0.5N）に達すると 0.06mm/s まで減速して計測を行う。また、葉の損傷防止のため、設定した荷重に達すると計測動作を自動的に終了する。計測は一次および二次葉脈を避けて行うため、葉脈を避けた圧縮部位の位置決めが容易にできるように、センサユニットの底面に透明のガラス面（図３）を設けた。また、葉脈を挟んだ場合等のヤング率の異常値（誤差）による精度低下を防ぐため、３点の各ヤング率算出後、中央値から偏差が±規定値より大きい値を含む葉のデータは除外して平均値を算出する処理とした。計測結果の WP 推定値、ヤング率の算出値、ヤング率算出に用いた葉厚の計測値、さらに計測後にデータ検証を行うため、ロードセルの荷重およびアクチュエータの変位の逐次データを SD カードへ保存できる。センサユニットは 58×22×126mm、300g、制御ユニットは 155×240×70mm、1.4 kg となり、肩掛け利用が可能なサイズおよび質量となっている。

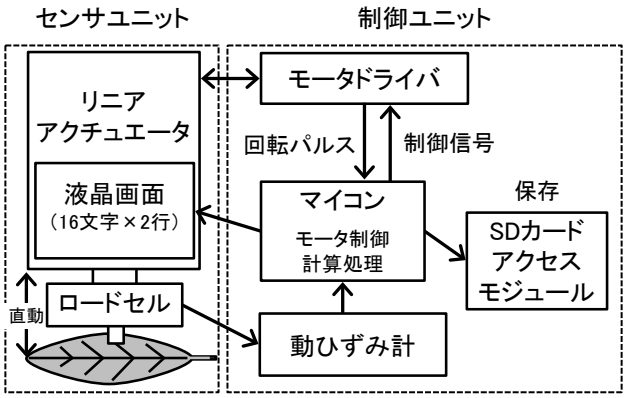


図1　開発機の構成

図２　開発機の概要

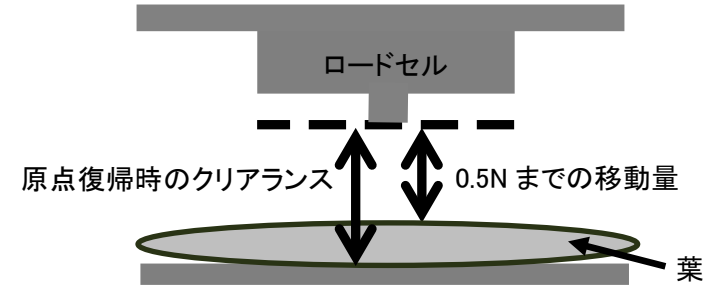
表１　測定装置の諸元

寸法および質量	センサユニット	22×58×126[mm] 300[g]
	制御ユニット	240×155×70[mm] 1.4[kg]
ロードセル		容量 100[N]
リチウムポリマバッテリ		容量 1100[mAh]×電圧 24[V]
アクチュエータの動作速度		2.0[mm/s]（ミカン葉付近まで） 1.0[mm/s]（荷重増加～0.5[N]） 0.06[mm/s]（測定時）

図３　センサユニット底面

３）開発機のヤング率の算出方法

１、１）で示した計測項目については、荷重はロードセルにより測定し、圧縮した長さはアクチュエータの回転パルスから算出した。また、葉厚の算出方法を図４に示す。葉厚は、荷重およびアクチュエータの回転パルス数を用いて、アクチュエータの始動地点からセンサユニット底面までのクリアランスと始動地点から 0.5N までの移動量との差から算出した。以上の測定値を用いてヤング率を算出した。



葉厚 ＝ 原点復帰時のクリアランス － 0.5N までの移動量
（荷重とアクチュエータの回転パルスより算出）

図4　葉厚の算出方法

４）計測方法および流れ

新梢葉をセンサユニットに挿入し、スタートスイッチを押すと、装置が葉を圧縮する動作を開始する。測定は一次および二次葉脈を避けた部位とするため、これを視認できるよう、葉の裏側から圧縮を行う。圧縮時は、ヤング率算出に用いる荷重および移動量を測定し、葉を押す荷重が、設定値に達すると圧縮が自動的に停止する。続いて、測定値から計算処理を行い、ヤング率および WP の推定値、ヤング率値、ヤング率算出に用いた葉厚の計測値を液晶画面に表示するとともに SD カードに保存する。これら１回の計測に要する時間は 25 秒程度である。

５）開発機の特徴

①スタートボタンを押すと、アクチュエータの動作開始から計測結果の表示・保存までの一連の動作が自動的に行われるため、簡易な操作で計測できる。

②設定した荷重に達するとアクチュエータの押下動作が自動的に停止するため、ミカンの葉を損傷させることなく計測できる。

③プレッシャチャンバ法のように葉を採取する必要がなく、園地で樹体に着生状態の葉を非破壊で直接計測できる。

④園地で肩掛け利用が可能なサイズおよび質量である。

６）性能試験

開発機における葉厚の自動計測の精度およびヤング率とプレッシャチャンバによる WP との関係を確認するために性能試験を行った。

(1)材料および方法

試験は近畿中国四国農業研究センター四国研究センター（以下、四国研究センター）内マルチドリップ（以下、マルドリ）栽培ほ場にて、ウンシュウミカン「興津早生」６年生樹の新梢葉を対象に、開発機による葉厚の自動計測およびヤング率の算出、プレッシャチャンバによる WP 計測を行った。開発機による葉厚の計測精度の確認は、対照値をマイクロメータ（ミツトヨ製、CLM1-15QM）により計測し、ミカン葉 36 枚（測定点数：108）を供試して行った。WP はプレッシャチャンバ（PMS Model 600）により計測した。ヤング率は、葉１枚あたり３点計測し、その平均値を葉の計測値とした。ヤング率および WP は６樹体あたり６枚計測し、６枚の平均値を樹体の計測値とし、この樹体の計測値によってヤング率と WP の関係を調査した（供試樹体：23）。計測は、７月 31 日～８月 3 日の期間に、園地で使用される実用範囲のデータ取得を行うため、かん水によって WP を-0.5～-1.5MPa 程度に調節して行った。WP およびヤング率の計測時間は、樹体内全体の水分状態が均質となる午前４時から日の出前までに行った。

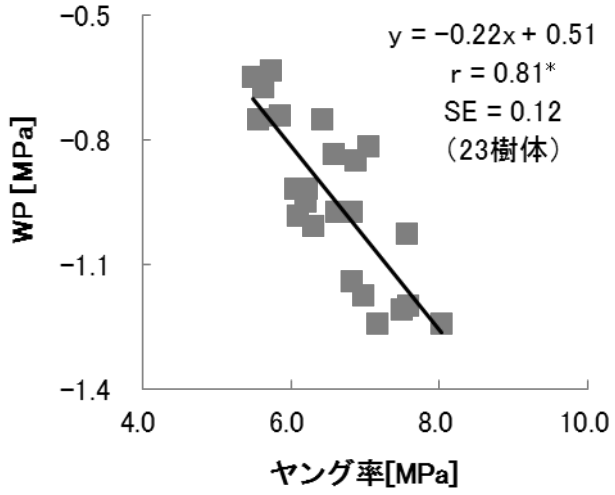
(2)結果

葉厚計測の性能試験では、開発機とマイクロメータによる葉厚計測の結果、両者の相関係数は 0.85、標準誤差は 0.008 となった。葉厚の計測はマイクロメータによる計測値に対して相関があ

り、開発機の方法による葉厚計測の有効性を確認した。

開発機によるヤング率とプレッシャチャンバによる WP の関係を図５に示す。両者は、負の相関を示し、相関係数は 0.81、標準誤差は 0.12 となり、両者に相関が確認された。

以上から、葉厚計測およびヤング率算出までの一連の自動化を図った開発機の性能を確認するとともに、本装置により園地で簡易に WP の推定が可能であることが示された。また、栽培上適切な水分状態の付近では、目視による判別では困難な樹体の細かな状態変化が、栽培現場で必要とされる目標精度 WP±0.2MPa 以内で測定できることが示された。



注)*は 1%水準で有意

図５ 開発機によるヤング率とプレッシャチャンバによる WP との結果

２．利用条件の検討

上記の性能試験の結果から、７月下旬～８月上旬の単年での WP の推定が可能となったため、さらに検量線の年次間差およびかん水管理を行う期間を通して利用可能であるか調査した。

１）年次間差の調査

開発機に適用する検量線の年次間差を調査するため、2011 および 2012 年度の２年間の計測データを用いて検討を行った。

(1)材料および方法

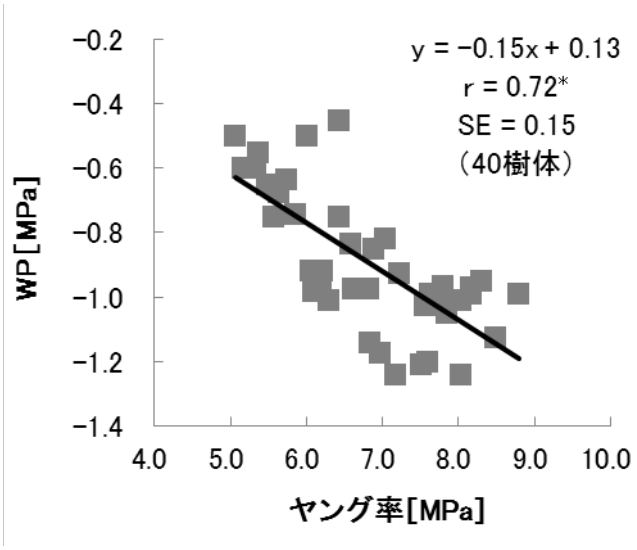
試験は、四国研究センター内マルドリ栽培ほ場にて、ウンシュウミカン「興津早生」５年（2011 年）および６年（2012 年）生樹の新梢葉を対象に行った。測定期間は、2011 年７月 26 日および８月９～11 日、2012 年７月 31 日～８月２日とした。ヤング率は、前試作機（2011 年）および本開発機(2012 年)により計測し、ヤング率および WP の測定点数、WP の計測方法、測定時間は１、６)、(1)と同様の方法とした

(2)結果

年次間差の調査の結果を図６に示す。2011 年および 2012 年のデータを合わせて相関を調査した結果では、相関係数が 0.72、標準誤差が 0.15（供試樹体 40）となった。現場で求められる精

度が±0.2MPa 以内であることから、同一の検量線を利用できる可能性が示唆された。

今後、同一装置によるさらなるデータ集積により、本検量線の精度は向上すると推測される。同一の検量線の利用が可能となれば、毎年、検量線を更新するための作業等がなくなり、より簡易に装置が利用できる。



注)*は 1%水準で有意

図6 年次間差の結果

（試験日:2011/7/26･8/9～11 および 2012/7/31～8/2）

２）利用可能な期間の調査

マルドリ栽培でのかん水管理の期間は、７月梅雨明けから９月までとされている。そのため、本期間における装置の利用可能性を検討する必要がある。しかし、２、４、(2)の性能試験の際に、８月後半以降の朝露等によって葉の表面付近の湿度が 100%になる条件下では、ヤング率と WP の相関が低下することを確認した。そのため、気象等の計測条件の変化によるヤング率の変化に関するデータ集積を行い、本装置の利用可能な期間および条件を調査した。

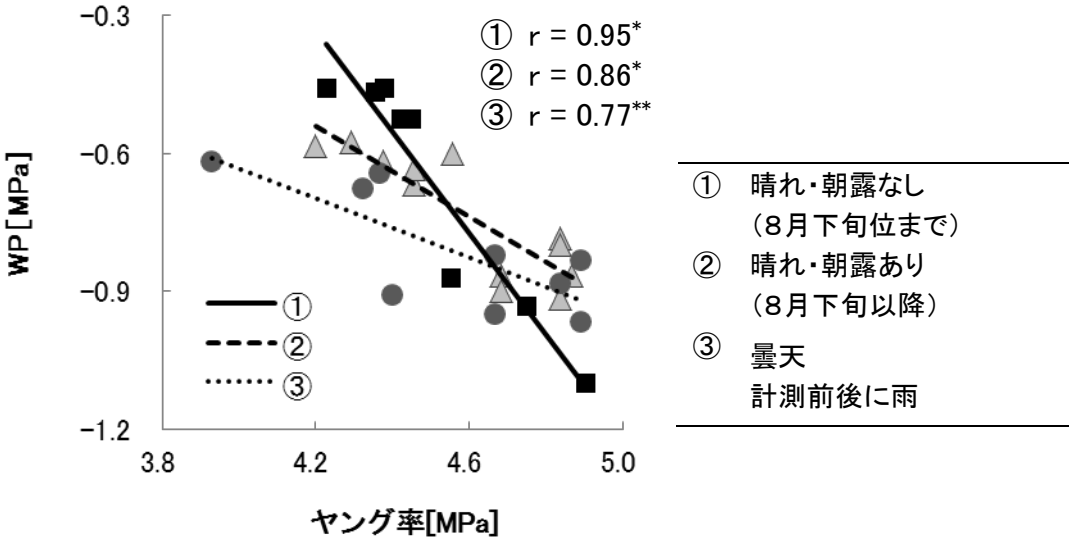
(1)材料および方法

試験は、四国研究センター内マルドリ栽培ほ場にて、ウンシュウミカン「興津早生」７年生樹の新梢葉を対象に行った。測定期間は、気象が変化しやすい８月後半以降に設定し、2013 年８月 22～30 日および９月 25 日～10 月４日の２期間とした。ヤング率および WP の測定点数、WP の計測方法、測定時間は１、６)、(1)と同様の方法とした。また、環境条件として、樹体付近の温湿度および葉温を計測した。

(2)結果

気象条件によるヤング率の変化は、計測時の気象条件を図７注釈に示した①晴れ･朝露なし（主に８月下旬位まで)、②晴れ・朝露あり（８月下旬以降)、③その他（くもり等)、の３パターンに分類するとともに②③では計算処理を変えて相関を求めることにより、それぞれ高い相関の検量線が得られた。

以上から、装置に測定時の気象条件を選択するモードを加え、検量線を使い分けることにより、かん水管理が必要とされる７月梅雨明けから、８、９月の期間を通して装置利用が可能であることが示唆された。



注 1)*は 1%水準で有意、注 2)**は 5%水準で有意

図7　気象条件とヤング率の関係

（試験日：2013/8/22～30 および 9/25～10/4）

３）利用条件および方法のまとめ

最後に、計測方法および試験結果から本装置の利用条件および方法を整理した（表２）。

表2　利用条件および方法

計測時間		朝4時～日の出前（最大 WP の測定）
測定する葉		新梢葉
1 樹体当たりの測定枚数		1 樹体当たり 6 枚 （1 枚当たり 3 点計測）
測定装置	結果の表示	WP 推定値 または かん水が必要、不要等の表示
	検量線	3 種類（図7注釈の①、②、③） 装置の選択モードにより切替え

おわりに

園地にて非熟練者でも迅速かつ簡易に WP が推定できるように、樹体に着生した葉を非破壊で直接計測し、葉の硬さの程度を示すヤング率（弾性率）を求め、このヤング率から WP が推定できる携帯型植物水分情報測定装置を開発した。計測開始からデータ保存まで一連の動作の自動化を図った装置の性能を確認するとともに、本装置を利用することにより園地で簡易に WP の推定が可能となった。今

後は、同一装置による年次間差のさらなるデータ集積、1 樹体当たりの測定時間の短縮を図るための 1 樹体当たりの適正な計測枚数の検討が必要である。

また、本報告で取り上げた開発機から、さらに取扱い性向上および計測時間の短縮、精度向上を図った装置（図８）を開発したのでここに紹介する。新装置での１回の計測に要する時間は７秒となり、開発機の２５秒から大幅な時間短縮を図った。また、持ちやすい構造に改良するとともに精度も向上させている。

高品質栽培における精密なかん水管理のための簡易な水ストレス判定技術に対する栽培現場での要望は強く、これらの期待に応えるべく一日も早い実用化を目指したい。

最後に、現地試験の実施に当たっては、近畿中国四国農業研究センター傾斜地園芸研究領域の方々から多大な御助言と御協力を賜った。ここに記して深く感謝の意を表する。

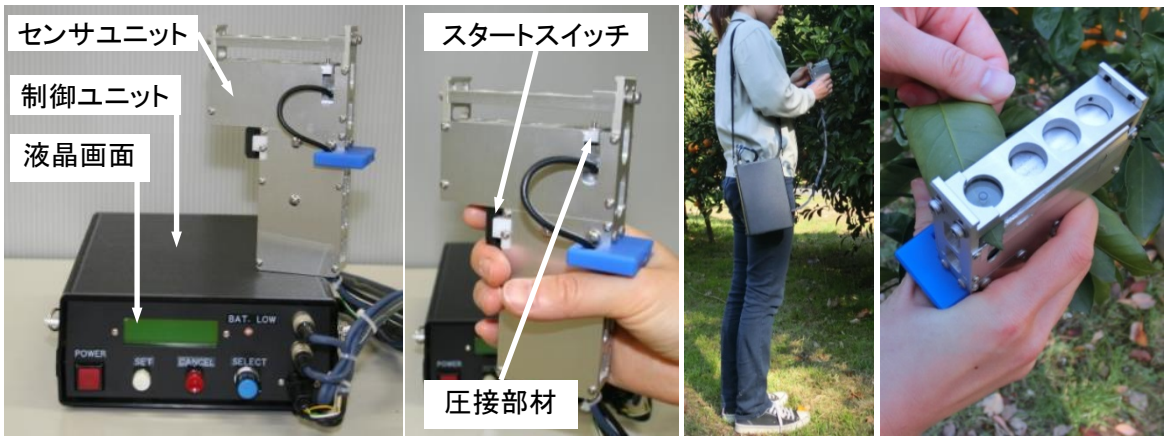


図8　新しく開発した装置

参考文献

1）間苧谷徹ら：夏季におけるウンシュウミカン樹の水管理指標としての葉の水ポテンシャル、園学雑 49、41-48、1980

2）村瀬治比古：水ポテンシャルの異なるポテト塊茎の音響インピーダンスの測定、第 40 回農機学会年次大会講演要旨集、168、1981

3）山田彬雄ら：プラスチックフィルムマルチと敷わらの組み合わせによるウンシュウミカンの品質向上、園学雑 59（別 1)、32-33、1990

4）森永邦久ら：露地ウンシュウミカンにおける周年マルチ点滴灌水同時施肥法の効果、園学研 3、33-37、2004

5）貝原ら：根域制限栽培のウンシュウミカン‘上野早生’における水分ストレス付与程度の違いが果実品質に及ぼす影響、園学雑 75（別 2)、99、2006

6）重松ら：植物体の水分状態と力学的特性値の関係（第２報)、第 67 回農機学会年次大会、93-94、2008

7）山下ら：植物体の水分状態と力学的特性値の関係（第３報)、第 68 回農機学会年次大会、2009

8）中山：ヤング率計測による水分ストレスの推定、農機学会誌 75(5)、289-292、2013

籾摺機での玄米の放射性物質交差汚染に関する実態調査ならびに籾を使ったとも洗いによる放射性物質交差汚染の低減効果

生産システム研究部　野田崇啓、日髙靖之、重松健太、宮原佳彦
基礎技術研究部　山下貴史、窪田陽介（現神戸大学）

はじめに …… 64

１．籾摺機での玄米の放射性物質交差汚染に関する実態調査 …… 64
　１）調査方法 …… 64
　２）調査結果 …… 66
　３）まとめ …… 68

２．籾摺機での放射性物質交差汚染防止対策の検討 …… 68
　１）籾摺機の分解清掃による放射性物質交差汚染の低減効果 …… 69
　２）籾を使ったとも洗いによる放射性物質交差汚染の低減効果 …… 70
　３）試験結果のまとめと考察 …… 72

３．放射性物質交差汚染防止対策の実態調査 …… 73
　１）放射性物質交差汚染防止に向けた取り組み …… 73
　２）生産現場での放射性物質交差汚染防止策 …… 73
　３）実態調査方法および調査結果 …… 74

おわりに …… 75

参考文献 …… 75

はじめに

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災に伴い発生した東京電力福島第一原子力発電所事故による放射性物質の飛散により、福島県を中心に甚大な放射性物質汚染被害が発生した。農業場面において、放射性物質による土壌汚染は深刻であり、我が国の主食である米の安全性にも大きな影を落とした。

被害が特に大きい福島県では、消費者に向けた米の安全性を担保する独自の取り組みとして、流通する玄米の全量全袋を対象に放射性物質検査を行い、その検査結果を公表する対応策がとられている。

ここで、2012 年に実施した当該検査において、ごく一部の玄米袋（30kg 容）から食品基準値（100Bq/kg、米では 2012 年 10 月 1 日より適用）[1]を超える放射性セシウム（以後、放射性 Cs）が検出された [2]。その要因を調査した結果、土壌から放射性 Cs を吸収して食品の基準値を超過した事例の他に、原発事故当時、警戒区域にあった籾摺機を持ち出して清掃せずに使用していたこと、さらに、当該玄米を水で洗浄または異物除去した結果、放射性 Cs 濃度が大幅に低減した事例が確認された [2]。このことから、「籾摺機内での異物混入による交差汚染の可能性のある事例」が福島県と農林水産省から報告された [2]。本事例のような放射性物質による交差汚染について、農林水産省では「農産物が当該農機具等に付着している放射性物質に汚染されること」と定めている [3]。同事例の再発を防ぐためにも、籾摺機での交差汚染の発生実態を確認するとともに、早急に対応策を講ずる必要がある。

これより筆者らは、まず籾摺機が原因となる玄米の交差汚染が発生するか、また、その発生メカニズムはどのようなものかを明らかにするための実態調査を行った。

次に、2013 年の米生産に向け、営農再開地域の全農家が交差汚染を防ぐために具体的な対策を講じられるよう、籾摺機での交差汚染防止対策を検討した。

最後に、検討した交差汚染防止対策について、生産現場での実効性を評価した。

本稿では、これらを 3 章に分けて報告する。

１．籾摺機での玄米の放射性物質交差汚染に関する実態調査

１）調査方法

(1) 調査機の選定

原発事故以降使用されていない福島県内の籾摺機を選定基準として、表 1 に示す 2 台の籾摺機を選定した。同籾摺機を福島県内に設けた屋内試験場所までトラックで移送の上、調査に供試した。

(2) 籾摺試験

籾摺機での交差汚染の発生を再現するため、供試機を未清掃のまま用いて籾摺を行った。試験の状況を図 1 に示す。供試機はいずれもロール間隙自動調

表 1　実態調査に供試した籾摺機の仕様

	A 機	B 機
型式名	NPS550DWAM	NPS350DXA
籾摺方式	ロール	ロール
選別方式	揺動	揺動
モータ出力(kW)	3.7	1.9
ロール径(インチ)	5	3
処理能力(kg/h)※	1320～1920	720～1080

※　玄米排出能力を示す

節機能を備えた機種であり、同機能を用いた慣行作業を想定して籾摺を行った。供試籾は 2012 年岩手県産「べこごのみ」を用い、バネコンベアを介して籾摺機へ投入した。

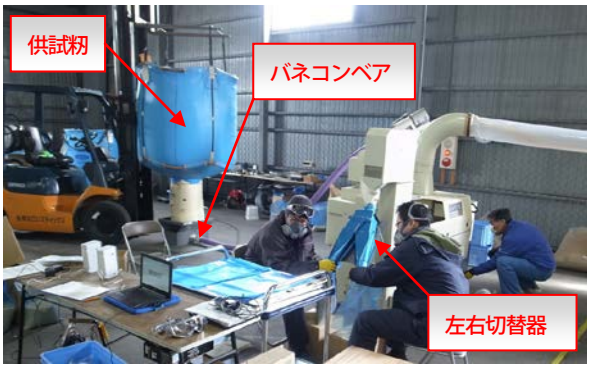


図 1　籾摺試験の状況

籾摺開始から吊りタンクに一定量の摺出米が溜まり、揺動選別板に摺出米が一様に広がったことを確認後、玄米の排出を開始した。ここで、排出された玄米を全量回収するため、籾摺機の仕上米排出口下方に左右切替器（型式：C-88、笹川農機製）を設置した。同切替器の排出口を 20 秒毎に切り替えながら、2 名の作業者で合計 40 袋分、時間にして約 14 分間玄米を回収した。籾摺は、揺動選別板上の残留が無くなるまで継続し、その後、籾摺機の電源を停止した。

籾摺終了後、回収した 40 袋の玄米質量を秤量計で測定し、同質量を排出順に積算して籾摺機からの玄米排出量を求めた。次に、玄米の放射性 Cs 濃度を回収した袋単位で測定した。測定サンプルは 1～10 袋目までの全袋、以降は任意に間隔を空けた袋を選定した。各袋の放射性 Cs 濃度は、当該袋までの玄米排出量における測定値とし、籾摺中における玄米排出量と放射性 Cs 濃度の推移を求めた。

放射性 Cs 濃度の測定は、「食品中の放射性セシウム検査法」[4]に基づき実施した。すなわち、ゲルマニウム半導体検出器（検出器：ORTEC 社製 GEM シリーズ）を用いたガンマ線スペクトロメトリーにより、測定容器（2L マリネリ容器）へ規定量のサンプルを封入の上、セシウム 134（^{134}Cs）およびセシウム 137（^{137}Cs）の各濃度（Bq/kg）を測定し、その合計値を放射性 Cs 濃度（Bq/kg）とした。測定検出限界は、^{134}Cs と ^{137}Cs のいずれも 1Bq/kg 以下とした。なお、サンプル中の玄米は、粉砕や乾燥などの前処理は行わず、現物試料のまま用いた。

交差汚染を確認するための評価基準は、「籾摺機で交差汚染されていない原料玄米（以下、基準玄米）」とした。同玄米は、予め清掃の上、さらに供試籾でとも洗いをしたインペラ式籾摺機（型式：FC-2K、(株)大竹製作所製、生研センター所有）を用いて調製し、同様に放射性 Cs 濃度を測定した。

(3) 籾摺試験後の機内残留物の調査

籾摺機の交差汚染原因として疑われる機内残留物の放射性 Cs 濃度を調査した。

前述の籾摺試験を終えた機体をビニールシート上に載せ、ハケや吸引ブロワ等を用いて機体の分解清掃を行った。分解清掃により除去した機内残留物は、ほうきやハケを用いて全量回収し、質量と放射性 Cs 濃度を測定した。放射性 Cs 濃度の測定は、ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーによって行った。

さらに、放射性 Cs 濃度の測定を終えた機内残留物の種類別質量割合を求めた。分類は、穀粒、ホコリ、籾殻、綿状の固まり（蛾の幼虫が吐いた糸に穀粉やホコリなどが絡みついて固まりを形成した

もの)、ネズミの糞、土塊・小石、その他とした（図 2)。また、質量割合が 1%を超えた分類項目は、同様の手法で再度放射性 Cs 濃度を測定した。

図２　分類した機内残留物サンプルの例

(4) 玄米袋に混入した機内残留物質量割合の測定

玄米袋に混入した機内残留物の質量割合を測定し、交差汚染との関連性を調査した。放射性 Cs 濃度を測定した玄米袋内のサンプルを対象に、風選および手選別にてホコリ等の機内残留物を選別し、質量を測定した。ここで、同残留物がサンプル全体に占める質量割合を機内残混入率（%）と定義した。本調査は A 機を対象に実施した。

(5) 交差汚染米の米粒形態別の放射性 Cs 濃度の測定

人為的に交差汚染させた玄米を精米、さらに炊飯前の洗米作業を想定して水洗いした際の放射性 Cs 濃度を測定し、玄米の交差汚染の特徴を調査した。供試玄米は、福島県内で放射性 Cs 吸収抑制対策を実施の下で生産された 2013 年産コシヒカリを用いた。まず、放射性 Cs 濃度の高い機内残留物を人為的に玄米に付着させ、同濃度が計算上 100Bq/kg となるようサンプルを調製し、玄米状態での放射性 Cs 濃度を測定した。次に、同玄米をビニール袋内で約 1 ヶ月間保管の後、試験用縦型精米機（型式：VP-32、(株)山本製作所製）にて市販精米と同等白度まで搗精後、放射性 Cs 濃度を測定した。さらに、炊飯前の洗米作業を想定し、同精米を水洗いしたサンプル（以下、水洗精米）の放射性 Cs 濃度を測定した。対照区として機内残留物を混入させない試験区を設けた。

２）調査結果

(1) 籾摺機での交差汚染再現試験

A 機、B 機における玄米排出中の放射性 Cs 濃度の測定結果を図 3 に示す。基準玄米の放射性 Cs 濃度の値は、破線で併記する。

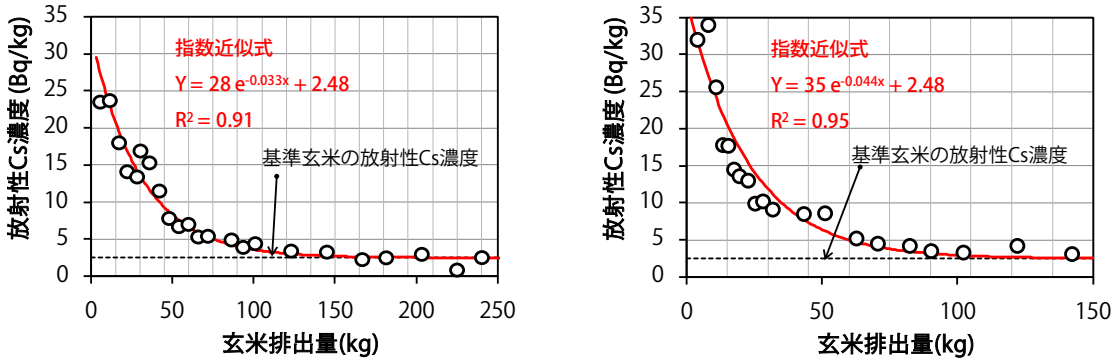


図３　慣行籾摺中における玄米の放射性 Cs 濃度の推移（左：A 機、右：B 機）

籾摺機から排出された 1 袋目の玄米の放射性 Cs 濃度は、A 機では 23.6Bq/kg、B 機では 32.0Bq/kg であり、食品基準値（100Bq/kg）[4]より低かったものの、基準玄米の測定値である 2.48Bq/kg に比べ、A 機では約 10 倍、B 機では約 13 倍高い値を示した。玄米排出が進むにつれ、放射性 Cs 濃度は指数近似に沿って低減し、排出終盤における同濃度は基準玄米と同水準となった。これより、籾摺機内での玄米の交差汚染の発生が明らかとなった。また、同交差汚染は、籾摺機から玄米排出の開始直後に強く現れ、以降、加速度的に低減することを認めた。

(2) 籾摺機内残留物の放射性 Cs 濃度

慣行籾摺後の機内残留物の質量割合および放射性 Cs 濃度の測定結果を表 2 に示す。

機内残留物全体の質量は、A 機で約 2.9kg、B 機で約 1.3kg であった。同放射性 Cs 濃度は、A 機では 1850Bq/kg、B 機では 670Bq/kg であり、籾摺機から排出された玄米の放射線 Cs 濃度を大きく上回った。これより、機内残留物が玄米袋へ混入した場合、当該玄米は高い放射性 Cs 濃度として検出される可能性が明らかとなった。

表２　籾摺後の機内残留物の質量割合と放射性 Cs 濃度

分類	A 機		B 機	
	質量割合(%)	放射性 Cs 濃度(Bq/kg)	質量割合(%)	放射性 Cs 濃度(Bq/kg)
穀粒	40.3	21	78.3	33
ホコリ	39.1	3000	17.1	2570
籾殻	8.5	1660	3.2	600
綿状の固まり	8.2	4200	0.9	-
ネズミの糞	3.4	7200	0.0	-
小石・土塊	0.4	-	0.3	-
その他	0.3	-	0.2	-
全体※	100 (2898 g)	1850	100 (1321 g)	670

※　質量割合の（）内の数字は、回収した機内残留物の全体質量(g)を示す

機内残留物を種類別に見ると、A 機、B 機ともに穀粒の質量割合が多く、次いでホコリ、籾殻となった。A 機ではネズミの糞が認められたが、B 機では認められず、供試前の保管条件の差と考えられた。質量割合の最も高い穀粒の放射性 Cs 濃度は、A 機では 21Bq/kg、B 機では 33Bq/kg と比較的低かった。これは、穀粒は籾摺試験の過程で残留した搗出米が大半であるためと考えられた。一方、籾摺試験前から残留していたと考えられるホコリは、A 機では 3000Bq/kg、B 機では 2570Bq/kg と高く、またホコリが付着している籾殻や綿状の固まりなども高い放射性 Cs 濃度であった。

これより、今回測定した機内残留物の放射性 Cs 濃度は原料により薄められており、籾摺試験前、すなわち未清掃の状態での同濃度は、本測定値よりもさらに高いと考えられた。また、機内残留物のうち、ホコリは質量割合、放射性 Cs 濃度が共に高く、交差汚染に与える影響が大きいと考えられた。

(3) 玄米袋内の機内残混入率と放射性 Cs 濃度の関係

A 機で測定した玄米の放射性 Cs 濃度と同玄米袋の機内残混入率の関係を図 4 に示す。

本測定において、機内残混入率と放射性 Cs 濃度に高い正の相関が認められた（r=0.91、p<0.001、Pearson 無相関検定による）。前述のとおり、機内残留物は玄米に比べて高い放射性 Cs 濃度であること

から、玄米袋への機内残留物の混入が交差汚染の原因であることが明らかとなった。

(4) 交差汚染米の米粒形態別の放射性 Cs 濃度

人為的に交差汚染させた玄米を、精米、水洗精米へと調製した際の放射性 Cs 濃度の変化を図 5 に示す。測定値は、いずれも水分 15%w.b.基準に換算した値として示す。

玄米時の放射性 Cs 濃度が 96.3Bq/kg の交差汚染米は、精米時で 6.5Bq/kg、水洗精米時で 2.5Bq/kg と調製工程で濃度が格段に低減した。精米および水洗精米の段階では、交差汚染の無い玄米と遜色無いものと考えた。図 5 に示す交差汚染の無い玄米の放射性 Cs 濃度変化について、玄米時の放射性 Cs 濃度を 100 とすると、精米時には 41%、水洗精米時には 15%となる。これは、既往の測定例[5)]と概ね同等の濃度変化と判断できる値である。一方、交差汚染した玄米について、同様に玄米時を 100 とした相対比較を行うと、精米では 7%、水洗精米では 3%となり、交差汚染の無い玄米に比べ、極めて大きな濃度変化となった。これは、交差汚染は、機内残留物の玄米袋への混入および玄米表面への付着であるため、同残留物は、精米や水洗の過程で、物理的に除去されたものと考えられた。

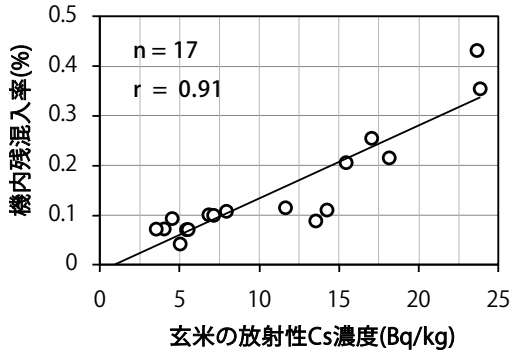


図４　玄米の放射性 Cs 濃度と機内残混入率との相関

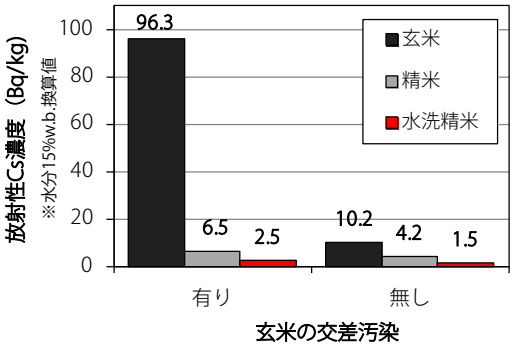


図５　交差汚染の米粒形態別影響調査

３）まとめ

放射性物質による汚染が疑われる籾摺機を未清掃のまま用いて籾摺を行うと、高濃度の放射性 Cs を含有する機内残留物が玄米袋へ混入し、結果として玄米の放射性 Cs 濃度が高く検出されるという交差汚染の発生が明らかとなった。また、交差汚染の原因物質である機内残留物は、玄米排出直後の袋に多く混入し、玄米排出が進むにつれて徐々に減量していくことも明らかとなった。

交差汚染の再発を防ぐためには，籾摺前に機内残留物を取り除くことにより、玄米袋の放射性 Cs 濃度が食品基準値を超えないよう対策を施す必要がある。

２．籾摺機での放射性物質交差汚染防止対策の検討

交差汚染を防ぐためには、籾摺前に機内残留物を取り除く必要がある。また、交差汚染は玄米排出の開始直後に強く現れるため、清掃用の原料を籾摺機に投入後、排出することによって機内残留物を原料とともに洗い出すこともできると考えられた。

そこで筆者らは、交差汚染対策として籾摺機を分解清掃し、機内残留物を可能な限り取り除く方法（以

下、分解清掃）および籾を用いて機内残留物を原料とともに洗い出す方法（以下、とも洗い）について、その効果を検討した。本試験にあたり、分解清掃はとも洗いに比べ、丁寧な清掃方法と位置づけた。

１）籾摺機の分解清掃による放射性物質交差汚染の低減効果

(1) 試験方法

原発事故以降使用されていない福島県内の籾摺機を選定基準として、表 3 に示す 4 台の籾摺機を選定し、福島県内の屋内試験場所までトラックで移送の上、分解清掃の試験に供試した。

分解清掃は、対象機をビニールシート上に載せ、ハケや吸引ブロワ等を用いて機体を分解しながらほこり等の機内残留物を排出・回収する作業とした。作業者の被ばくを防ぐため、エアガンなどの使用は行わないこととした。分解清掃は各製造メーカの技術者が担当した。分解清掃で回収した機内残留物は、質量と放射性 Cs 濃度を測定し、分解清掃により除去した放射性 Cs 量（機内残留物質量と放射性 Cs 濃度の積）を求めた。

表３　分解清掃に用いた籾摺機の仕様

	C 機	D 機	E 機	F 機
型式名	MPC40DA	MP50-A	NPS550DXAM	NPS450DXM
籾摺方式	ロール	ロール	ロール	ロール
選別方式	揺動	揺動	揺動	揺動
モータ出力(kW)	2.2	3.7	3.7	2.79
ロール径(インチ)	4	5	5	4
処理能力(kg/h)※	900～1440	1280～2040	1320～1920	1080～1440

※　玄米排出能力を示す

分解清掃後の籾摺機は、再度組立を行い、前述の籾摺試験を実施した。籾摺試験により、玄米排出量と放射性 Cs 濃度の推移を求め、分解清掃後の籾摺中、食品基準値を超える玄米が排出されるか確認した。供試籾は前述の実態調査と同じ岩手県産「べこごのみ」を用いた（基準玄米の放射性 Cs 濃度＝2.48Bq/kg）。

(2) 試験結果とフォローアップ調査

籾摺機の分解清掃は、分解－清掃－組立－残留物回収の一連の工程で、1 台当たり 2 人組の作業で約 1 時間 30 分を要した。

分解清掃により籾摺機から除去した放射性 Cs 量は、914～34550Bq（表 4）と広範囲にわたっており、特に D 機は、放射性 Cs 濃度が他機に比べて極めて高く、重度に汚染されていた。

表４　分解清掃で除去した放射性 Cs 量

	機内残留物質量(g)	放射性 Cs 濃度(Bq/kg)	放射性 Cs 量(Bq)
C 機	842	4100	3451
D 機	1728	20000	34550
E 機	1099	1050	1154
F 機	547	1670	914

分解清掃後の籾摺では、いずれの機体においても玄米排出が進むにつれて玄米の放射性 Cs 濃度は指数近似に沿って加速度的に減少する傾向を得た。分解清掃後にも放射性 Cs 濃度が玄米排出の初期に高く、その後低減する理由は、同清掃で取り除ききれなかった機内残留物が影響しているためと考えた。C、E、F 機では玄米排出を開始した 1 袋目の放射性

Cs 濃度も 20Bq/kg 以下と低く、また、籾摺中に同濃度は基準玄米の測定値まで減少したため、分解清掃に効果があったと考えた。しかし重度汚染の D 機では、玄米排出量が 30kg を超えるまで 100Bq/kg を超える玄米が排出され続け、慣行玄米袋（30kg 容）に換算すると、最初 1 袋目は食品基準値を超える結果となった（図 6）。

D 機は農家の納屋に保管されていたが、震災の影響で籾摺機設置場所の土壁が崩れ、土砂となってホッパや天板に堆積している状況であった。また、D 機の分解清掃で回収した機内残留物について手選別を行い、各分類における質量、放射性 Cs 濃度を測定した結果、土壌由来と考えられるホコリ、土塊などの質量割合と放射性 Cs 濃度が双方共に極めて高い特徴があった。このような機体では、今回実施した分解清掃のみでは、原料処理経路の清掃が不十分となる可能性を認めた。

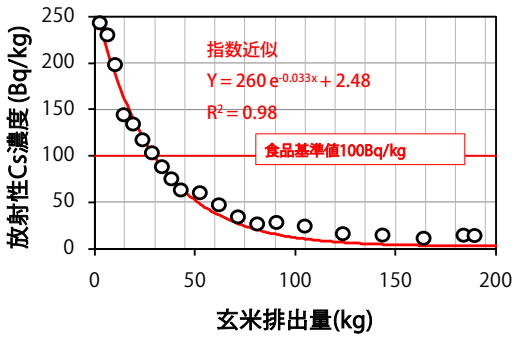


図６　D 機での玄米排出量毎の放射性 Cs 濃度の推移

以上、分解清掃を供試機 4 台で実施した結果、いずれも分解清掃によって物理的に放射性 Cs 濃度を除去でき、同清掃後の籾摺において 3 台では、食品基準値を超える玄米は排出されなかった。しかしながら、重度汚染の機体 1 台で、分解清掃後にも関わらず食品基準値を超える玄米が排出され、機体の初期汚染度によって、その効果に差が認められる結果となった。

2）籾を使ったとも洗いによる放射性物質交差汚染の低減効果

(1) 試験方法

原発事故以降使用されていない福島県内の籾摺機を選定基準として、表 5 に示す 4 台の籾摺機を選定し、福島県内の屋内試験場所までトラックで移送の上、とも洗いの試験に供試した。

ここで、とも洗いとは、籾摺機に籾を 40kg 投入し、慣行より長い 3 分間の循環運転を行い、機内の残留物を玄米とともに洗い出す作業と定義した。その作業の流れを図 7 に示す。このとも洗いは、現場で品種切替時における簡易的な清掃として行われる作業で、機内の錆落としで行われることもある。

表５　とも洗いに用いた籾摺機の仕様

	G 機	H 機	I 機	J 機
型式名	MP500-M	MPC40A	NPS550DXAM	RHS40D
籾摺方式	ロール	ロール	ロール	ロール
選別方式	揺動	揺動	揺動	回転
モータ出力(kW)	3.7	2.2	3.7	2.9
ロール径(インチ)	5	4	5	4
処理能力(kg/h)※	1320～1920	900～1440	1320～1920	780～1200

※　玄米排出能力を示す

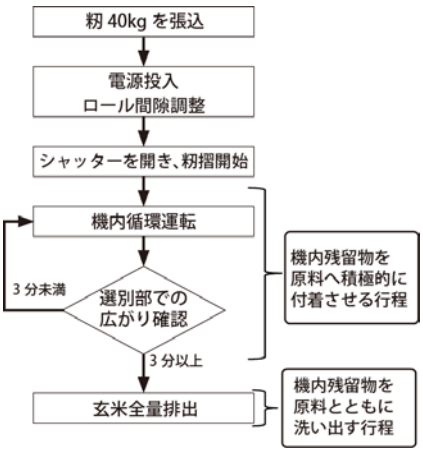


図７　とも洗いの作業内容

そのため、とも洗いは特別な作業ではなく、現場でも取り組みやすい方法であると考えられた。

とも洗いの交差汚染低減効果を確認するため、まず、前述のとも洗いを行い、仕上米口から排出された玄米を小袋に分けて全量回収し、同サンプルの放射性 Cs 濃度を袋単位で測定した。供試籾は前述と同じ岩手県産「べこごのみ」を用いた。とも洗いは籾摺機から玄米が排出されなくなるまで継続し、その後籾摺機の運転を停止した。

とも洗いの終了後、同じ供試籾を用いて改めて慣行の籾摺を実施し、同様に仕上米口からの玄米排出量と放射性 Cs 濃度を測定した。なお、とも洗いと慣行の籾摺の間で籾摺機の清掃は行わなかった。

一連の籾摺終了後、分解清掃により機内残留物を回収し、質量と放射性 Cs 濃度を測定した。

(2) 試験結果と考察

とも洗い中に排出される玄米の放射性 Cs 濃度は、排出初期をピークに減少した後、終盤に再度高くなる凹型の特徴的な推移を示し、いずれの機体でも食品基準値を超える放射性 Cs 濃度を検出した。とも洗い原料には機内の残留物が多く付着しているため、放射性 Cs 濃度は高い値を示すと考えられた。また、とも洗いの終盤に放射性 Cs 濃度が上昇する理由は、玄米排出の終盤では機内に残る原料が少なくなるために玄米排出量が減少する一方、機内残留物が排出され続けており、その結果、同残留物の玄米袋への質量混入割合が相対的に増加したことが原因と考えられた（図 8）。

とも洗い後の籾摺では、いずれの供試機においても、とも洗い中と比べて放射性 Cs 濃度は大きく減少した。また、とも洗い後に籾摺した玄米では、いずれの供試機でも食品基準値を超える事例は認められなかった。これより、とも洗いによる交差汚染の低減効果を確認した。

とも洗いでは、3 分と慣行より長い循環運転中、放射性 Cs 濃度の高い機内残留物を原料へ積極的に付着させ、その後、原料とともに機外へ排出する操作となる。仮に、籾摺機の処理能力を 1500kg/h とすると、3 分間の循環運転では 75kg 程度の穀粒が機内を循環したことに相当する。そのため、とも洗いは少ない籾の量で放射性 Cs 濃度を効果的に低減できる方策といえる。

上記一連の作業を終えた機体から回収した機内残留物の質量と放射性 Cs 濃度を表 6 に示す。一連

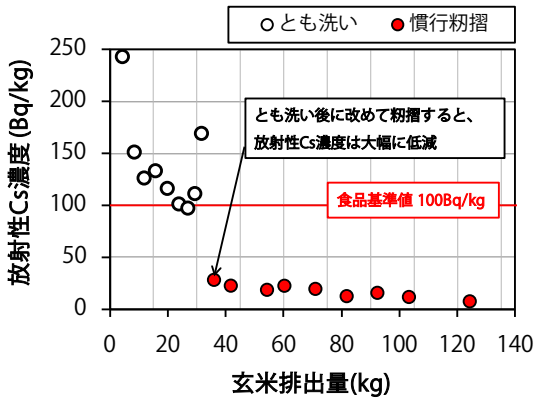


図８　とも洗いによる交差汚染低減効果（G 機の例）

表６　とも洗いした機体の籾摺後の機内残留物

	機内残留物質量(g)	放射性 Cs 濃度(Bq/kg)
G 機	7019	1302
H 機	1680	580
I 機	2709	3100
J 機	3550	780

の作業後においても、機内残留物の放射性 Cs 濃度は依然として高い値を示していた。これは、今回の清掃作業では、とも洗いでは清掃が困難である原料通過経路外の機内残留物もまとめて回収しており、同残留物の影響により放射性 Cs 濃度が高くなったものと考えられた。原料通過経路外の残留物は、玄米の交差汚染に与える影響は小さいと考えられるが、保管中のねずみ等の侵入やとうみの風などの影響によって原料通過経路に戻され、その結果、玄米の交差汚染が再発する危険性もある。そのため、とも洗いの作業後に通常の清掃を行い、機内残留物を極力取り除くことが望ましい。また、とも洗い後の慣行籾摺でも玄米の放射性 Cs 濃度がわずかに低減していたことから、とも洗いにより、原料通過経路内の機内残留物を完全に取り除くことは不可能であると考えられる。このため、とも洗いと通常の清掃を組み合わせることが望ましいと考えた。

3）試験結果のまとめと考察

交差汚染防止対策として、分解清掃およびとも洗いの 2 種類を各 4 台、延べ 8 台で検討した。

その結果、いずれの対策でも交差汚染の低減効果を確認したものの、分解清掃では、重度汚染の機体 1 台で籾摺中に食品基準値を超える玄米が排出された。一方、とも洗いでは、いずれの機体からも、籾摺中に食品基準値を超える玄米は排出されなかった。本試験結果からとも洗いを採用すべきであるが、ここで、両試験に供試した籾摺機の汚染度が必ずしも同一でないことは留意すべき事項であるため、両者の作業を改めて比較し、総合的な評価を下すこととした。

その評価結果を表 7 に示す。分解清掃は製造メーカの技術者 2 名が実施し、1 台あたり約 1 時間 30 分を要した。各部の分解や組立には熟練を要するため、一般農家での実施は困難と思われた。交差汚染の低減効果は、前述のとおり重度汚染機体で食品基準値を超える事例が確認され、現段階では機体の初期汚染度を定量的に判断できる材料が見つからないことも問題と思われた。分解清掃費用は、製造メーカの技術者に聞き取り調査を行った結果、概ね 1 台 10 万円との回答を得た。

表 7　分解清掃ととも洗いの比較評価

	分解清掃	とも洗い
交差汚染低減効果	有り、ただし、供試機 4 台のうち、食品基準値を超える玄米が排出された機体が 1 台有	有り、供試機 4 台のうち、いずれの機体からも食品基準値を超える玄米排出は無し
労力	製造メーカ技術者 2 名作業で約 1 時間 30 分/台	1 名（一般農家も可）。10 分以内/台
費用	概算 10 万円/台（清掃作業者からの聞き取り調査による）	籾 40kg 相当/台（約 1 万円/台）
留意点	作業者被ばく、廃棄物処理など	原料通過経路外の清掃不十分、清掃用原料の処理など

一方、とも洗いは、籾摺機の循環運転は 3 分であり、玄米を全量排出する時間を加味しても 10 分以内と短時間で作業を終えることができる。作業に特段の熟練は必要とせず、1 名で行うことができる。また、とも洗い後に食品基準値を超える玄米の排出は認められなかった。とも洗いの費用は、籾 40kg であり、価格にして 1 万円程度である。その他、とも洗いは、籾摺機を所有する生産者が実施できる

点、新旧を問わず、選別機能を有するほぼ全ての籾摺機に適用できる点、籾の使用量と循環時間を守れば安定した効果が期待できる点からも、生産現場に導入しやすい方法と考えた。一方、とも洗いの留意点である原料処理経路外の清掃に関しては、とも洗い作業前後に取扱説明書に従った通常の清掃を組み合わせることで再汚染のリスクを低減できると考えた。

以上より、本研究の緊急対応性および現場での対処の容易さを考慮した結果、とも洗いを主体とした交差汚染防止対策が最適な方法と判断した。

3．放射性物質交差汚染防止対策の実態調査

1）放射性物質交差汚染防止に向けた取り組み

2013 年 1 月、福島県での 25 年度産米の作付方針が決まり、2013 年から新たに 5 市町村で水稲の営農再開が可能となった [6)]。

2013 年 7 月、農林水産省と協議の結果、交差汚染防止対策は「米の収穫・乾燥・調製工程における放射性物質交差汚染防止ガイドライン」[7)]に掲載され、とも洗いは営農再開地域における主たる交差汚染防止対策として位置づけられた。さらに同月、籾摺機の機種別とも洗い手順書がメーカ主導のもとで作成され、農研機構ホームページから PDF 形式で閲覧・ダウンロード可能となった [8)]。

そして福島県営農再開支援事業の中で、福島県内で原発事故後に初めて使用する籾摺機や選別・計量機について、とも洗いに必要な経費が補助対象となった [7)]。経費負担の具体的内訳は、①とも洗いの実施に要する経費（とも洗いに使用し廃棄する玄米の代金、廃棄する玄米を入れる紙袋の代金、廃棄する玄米を保管場所へ運搬する経費など)、②とも洗いに使用した玄米の処分経費（保管料、保管場所から処分場所への運搬経費、処分料など）である [7)]。

2）生産現場での放射性物質交差汚染防止対策

2013 年、生産現場では、上記のガイドライン [7)]に沿って交差汚染防止対策が実施された。その具体的な作業について、籾摺機と選別・計量機の両方を有する生産者を例に図 9 で説明する。作業手順は以下に示す１）～４）のとおりである。

１）作業前清掃：籾摺機、選別・計量機について、各取扱説明書に従い、機内残留物を除去する。なお、両機がパイプで連結されている場合、予め切り離しておく。

２）籾摺機のとも洗い：生産者の収穫した当該年産の乾燥籾を用いて籾摺機のとも洗いを実施する。とも洗いで排出された玄米は、食用の米と混同しないよう、明確に区分できる袋に入れる。

３）籾摺機の作業後清掃：とも洗い終了後、機内に残留した摺出米などを取扱説明書に従い除去する。

４）選別・計量機のとも洗い：籾摺機と選別・計量機を連結後、籾摺機に籾を流して籾摺、選別・計量を流れ作業で実施し、機内残留物を除去する。排出された玄米は、２）と同様、明確に区分できる袋に入れる（袋は、２）で用いたものと兼用可)。なお、２）と４）を別々に実施する理由は、籾摺機の交差汚染が選別・計量機に拡散するのを防止するためである。

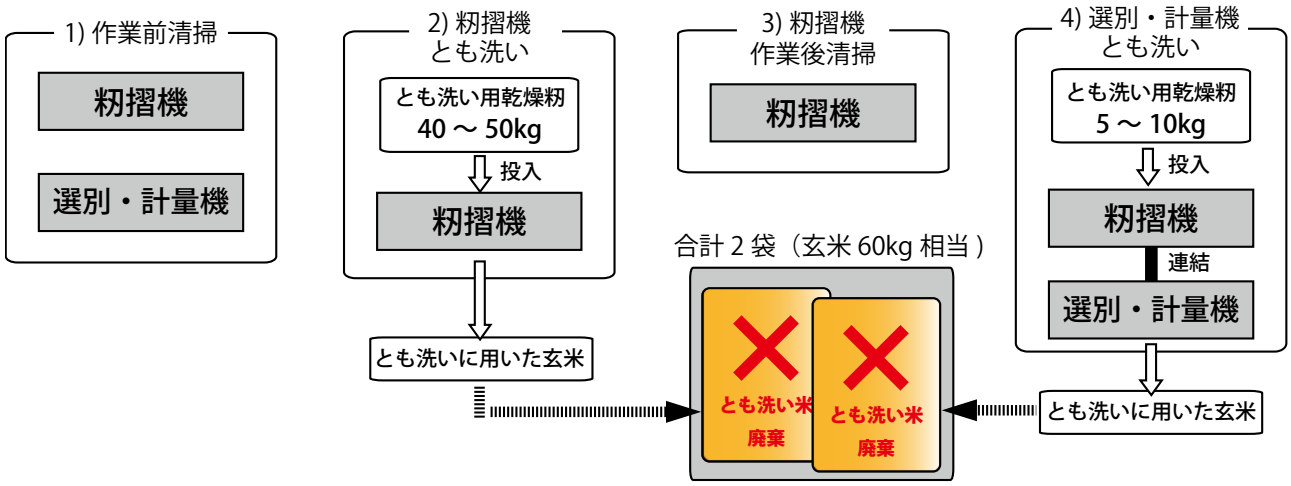


図９　籾摺機、選別・計量機における交差汚染防止対策の流れ

３）実態調査方法および調査結果

福島県水田畑作課では、2013 年度の営農再開地域を対象に、同交差汚染防止対策の効果検証を行っている。本稿の作成にあたり、福島県水田畑作課よりデータの提供を頂いた。

実態調査は、とも洗いによって排出された玄米袋の放射性 Cs 濃度と、とも洗い後に同一機器を用いて調製した出荷用玄米袋の放射性 Cs 濃度を比較する手法で行った。両者が同一籾摺機、選別・計量機によって調製されたものであることは、各袋に記載されている生産者番号から照会した。放射性 Cs 濃度の測定は、玄米全量全袋検査で用いられているベルトコンベヤ式の NaI スペクトロメータによって袋単位で実施した。

その調査結果を図 10 に示す。今回測定対象とした地域では、生産者 20 名が交差汚染防止対策を実施し、合計 40 袋のとも洗い米が発生した。上記 20 名の生産者が、とも洗い後に調製した出荷用玄米は、合計 5834 袋であった。図 10 では、両者の袋数割合をヒストグラムで表示したものである。

とも洗いに用いた玄米 40 袋では、100Bq/kg を超える放射性 Cs 濃度が複数点検出された。一方、出荷用玄米の 5834 袋では、75Bq/kg を超過する放射性 Cs 濃度の米袋は検出されず、大半は計測器の測定下限界値である 25Bq/kg 未満であった。なお、とも洗いに利用した袋数割合は、全体の 0.68%と低いものであった。

以上より、交差汚染防止対策により、出荷用玄米が食品基準値を超過するリスクを効率的に回避できたと考えた。

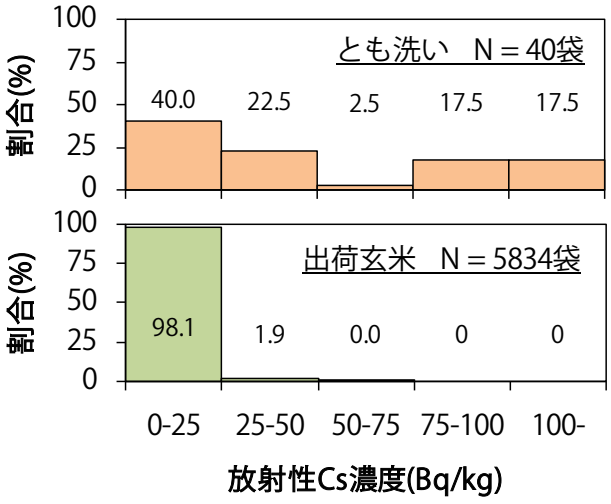


図 10　交差汚染防止対策の実態調査結果

おわりに

本試験の一部は、平成 24 年度科学技術戦略推進費「ほ場環境に応じた農作物への放射性物質移行低減対策確立のための緊急研究」によって実施したものである。試験遂行にあたっては、農林水産省穀物課および技術普及課の指導の下で実施した。

本試験の遂行にあたり、福島県内の農家の方から全面的な協力を得て籾摺機を借用した。試験に供試した籾摺機の選定およびとも洗いの実態調査に関しては､福島県農林水産部から多大な協力を頂いた｡また、とも洗いのマニュアル作りには、(一社) 日本農業機械工業会の協力を得た。

その他、各種試験の準備および実施に際し（独）農研機構 東北農研センター、福島県農業総合センター会津地域研究所、(株) 帝北ロジスティックス、(株) サタケ、井関農機 (株)、ヤンマー (株)、(株) 理研分析センター、(株) 環境総合テクノスと多方面の皆様から多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

1) 厚生労働省　医薬食品局食品安全部基準審査課, 2012, 食品中の放射性物質の新たな基準値について, http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/iken/dl/120117-1-03-01.pdf

2）福島県・農林水産省，2013，放射性セシウム濃度の高い米が発生する要因とその対策について～要因解析調査と試験栽培等の結果の取りまとめ～（概要），http://wwwcms.pref.fukushima.jp/download/1/youinkaiseki-kome130124.pdf

3）農林水産省，2013，福島県営農再開支援事業実施要綱，http://www.maff.go.jp/j/seisan/suisin/tuyoi_nougyou/t_tuti/h24/pdf/huki_01.pdf

4）厚生労働省　医薬食品局食品安全部，2012，食品中の放射性セシウム検査法，http://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/dl/shikenhou_120316.pdf

5）平成 23 年度農研機構研究成果情報，2011，玄米、白米、炊飯米の放射性セシウム濃度の解析，http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H23/suitou/H23suitou012.pdf

6）農林水産省，2013，25 年産米に関する作付制限等の対象地域（福島県），http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/kokumotu/pdf/130319-08.pdf

7）農林水産省，2013，米の収穫・乾燥・調製工程における放射性物質交差汚染防止ガイドライン，http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/pdf/kome_130709.pdf

8）農研機構　生研センター，2013，籾摺機の放射性物質交差汚染への取り組み，http://www.naro.affrc.go.jp/brain/iam/disaster/index.html

イチゴの個別包装容器の開発

園芸工学研究部　　紺屋朋子、貝沼秀夫、
藤岡　修（現生産システム研究部）、
大森定夫（現畜産工学研究部）

はじめに ····· 78

１．個別包装容器 ····· 78

２．貯蔵試験 ····· 79
　１）試験方法 ····· 79
　２）試験結果 ····· 79

３．輸送試験 ····· 81
　１）試験方法 ····· 81
　２）試験結果 ····· 82

おわりに ····· 84

参考文献 ····· 84

はじめに

国内におけるイチゴ栽培の本格的な発展は、第２次世界大戦後の経済成長とともに始まったと言われており、その期間は 70 年弱と短い。しかしながら、栽培体系の進展、品種改良等を通じて、現在のイチゴは収穫期間が約半年に延びるなど、一般の消費者に最も親しまれる果菜の一つとして普及している。そして 2000 年以降、「品種の戦国時代」とも称されるほど、次々と新たなイチゴが生まれている[1)]。近年は大果となる品種が増えており、それとともに販売方法も多様化している。また、2001 年には 4t に満たなかった輸出量は、2003 年に 10t、2008 年に 120t と飛躍的に伸びている。一時、東日本大震災の影響を受けやや低下したものの、2013 年の輸出量は 100t を超えるなど回復が見られる[2)]。しかしながら、イチゴは果実が軟弱で傷つきやすく、輸送時の配置方法によっては、自重を支える面に損傷を生じる場合もある[3)]。大きな果実の場合、損傷をより生じやすくなると考えられる。また、品種によっては果実がより軟弱なため、遠距離輸送を断念せざるを得ず、地場消費に限られているものも見られるなど、イチゴの損傷を抑えるための技術開発が喫緊の課題となっている。

これまでに、イチゴの損傷を軽減するためには、果実への荷重や接触を避けることが重要であることが明らかとなっている[3) 4)]。本報告では、それらの知見を参考にして、大果な果実や高品質な果実を１果ずつ販売することを想定した個別包装容器を開発し、その品質保持性能について検討した。その結果、個別包装容器は果実の質量減少率や損傷発生割合を低減し、これまで輸送の困難だった果実の輸送に貢献できる見通しを得たので、報告する。

１．個別包装容器

開発した個別包装容器（図１、材質：OPS（二軸延伸ポリスチレン））は、一辺を連結した上フタと下フタからなる二枚貝のような形状である。容器の一部で果柄を把持することにより、容器内で安定的に果実を固定することができ、果実に触れるものがない状態でイチゴを包装できる（図２）。

図１　個別包装容器外観

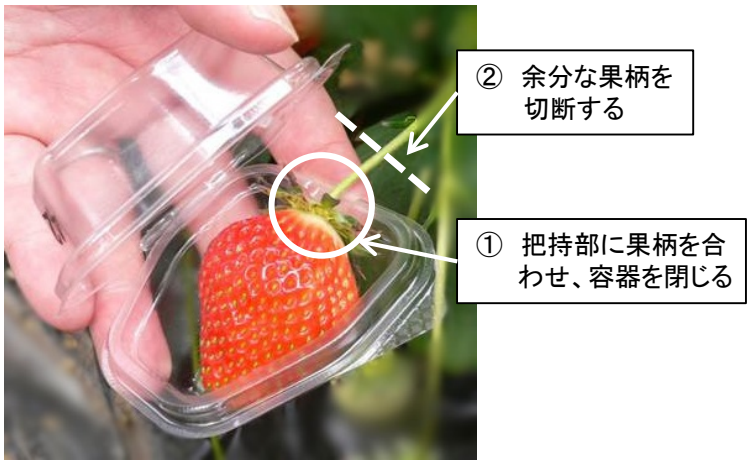


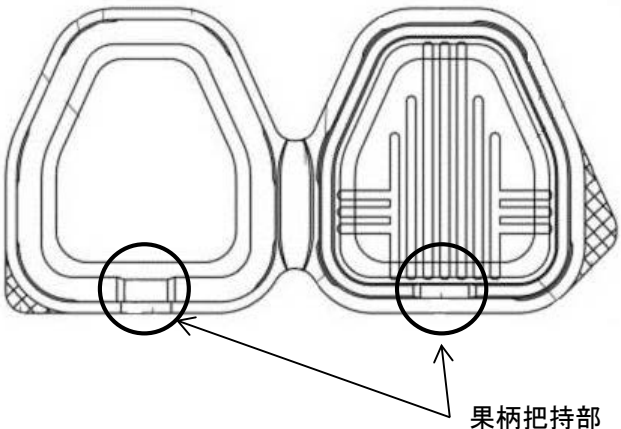
図２　個別包装容器への包装方法

容器は果柄把持部を下にして自立し、果実は硬度の高い果底部側で自重を支える姿勢となり、果実に自重による「おせ」などの損傷を生じない。

個別包装容器はⅠ型とⅡ型があり、容器内寸はそれぞれ、幅 50㎜×高さ 55㎜×奥行 45㎜（容器質量 2g)、幅 60㎜×高さ 65㎜×奥行 55㎜（容器質量 3g）である（図３)。Ⅰ型はL～２L サイズ（25g 程度）を対象とし、Ⅱ型はそれ以上の大きさの果実を対象とする。なお、これまでに、Ⅱ型の容器内に 51g（とちおとめ)、57g（あまおとめ)、46g（紅ほっぺ）のイチゴ果実を格納できることを確認した。

（Ⅰ型）　　（Ⅱ型）

容器内寸:（Ⅰ型）幅50×高さ55×奥行45mm
（Ⅱ型）幅60×高さ65×奥行55mm



（容器展開図）

２．貯蔵試験

１）試験方法

本容器の品質保持性能を検証するために、個別包装容器に格納したイチゴ「とちおとめ」を、５℃に設定したプレハブ冷蔵庫（相対湿度平均 78.8%RH、図５）に一定期間保存し、品質変化を調査した。対照区として、慣行の２段詰め包装のイチゴを供試した。試験は、2010 年から 2012 年の間に、イチゴの収穫期間の前半・中盤・後半を目標に実施し、品質評価の指標として、主に質量変化を測定した。また、質量以外の品質変化の傾向を把握するために、貯蔵中の容器内の二酸化炭素濃度、エチレン濃度を測定した。さらに、消費者が店頭で鮮度判断を行う際の指標になると考えられるヘタの変化を、外観の目視観察（新鮮：０、萎れ：１、黄化：３、褐変：５）[5)]、含水率測定により調査した。

２）試験結果

貯蔵 10 日後の質量減少率は、慣行区が 3.2～9.9%、個別容器区が 1.2～2.6%と、個別容器区の質量減少率は慣行区の 17～53%に留まり（図４)、個別包装容器は、慣行包装と比較して質量減少を抑制できることが明らかとなった。個別容器内の湿度は冷蔵庫内に比較して高く保たれ（図５)、果皮表面からの水分蒸散が抑制されたためと考えられる。なお、慣行区のイチゴは、パック上面をフィ

ルムで覆われているものの、パック内への通気が容易であることから、プレハブ冷蔵庫内の循環気流の影響を受けやすく、試験実施時期による差を生じ、一方、個別包装容器内は循環空気の影響が少ないために、試験時期を通じてほぼ一定になったと考えられる。

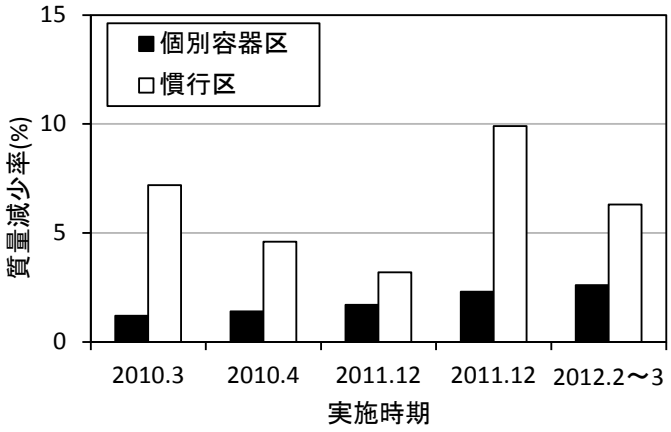


図４　質量減少率（10 日後）

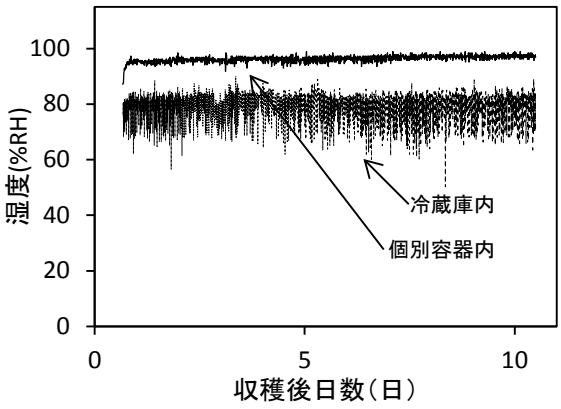
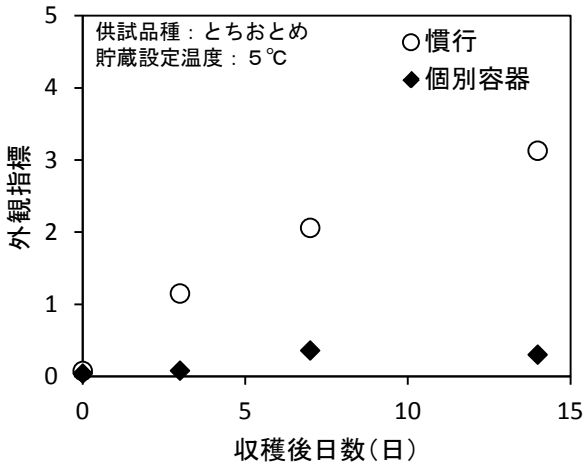


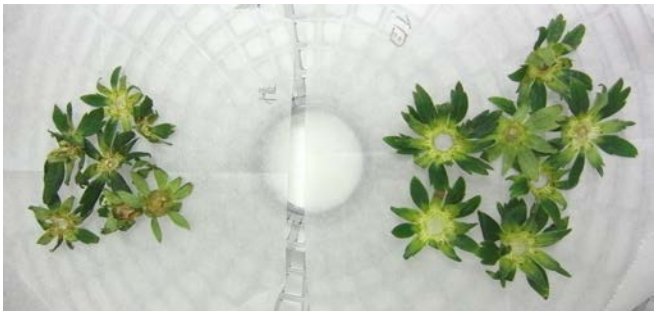
図５　貯蔵時の湿度推移例

次に、容器内の二酸化炭素濃度は、1000～1600ppm と、冷蔵庫内の二酸化炭素濃度（500～800ppm）と比較してやや高かったものの、イチゴの品質保持を目的とした MA（Modified Atmosphere）貯蔵においては、濃度 10%以上の二酸化炭素が適しているとの報告が複数ある[6) 7) 8)]。つまり、本容器内の二酸化炭素濃度では、低酸素状態における呼吸抑制効果は期待できないと考えられる。

ヘタの変化を目視観察した結果、慣行包装では、褐変や萎れが見られたが、個別容器区では、外観変化も少なかった（図６、図７）。ヘタの含水率を測定した結果においても、個別容器区では、慣行包装より、ヘタの含水率の変化が小さかった。

以上の結果から、個別包装容器は、鮮度評価の一指標である質量減少率および外観変化をともに小さくすることができ、イチゴの品質低下を抑制できると考えられる。





３．輸送試験

１）試験方法

本容器の果実損傷抑制性能を検証するために、個別包装容器に格納したイチゴを供試して輸送試験を行った。荷の受渡しや輸送車両の変更を行わずに直送する輸送試験（以下、直輸送試験）と、複数の地点と車両を経由する輸送試験（以下、経由輸送試験）を行った。

(1)直輸送試験

2011 年 11 月、埼玉県内の生産者および農協の協力を得て、イチゴの集配送トラックによる直輸送試験を行った。

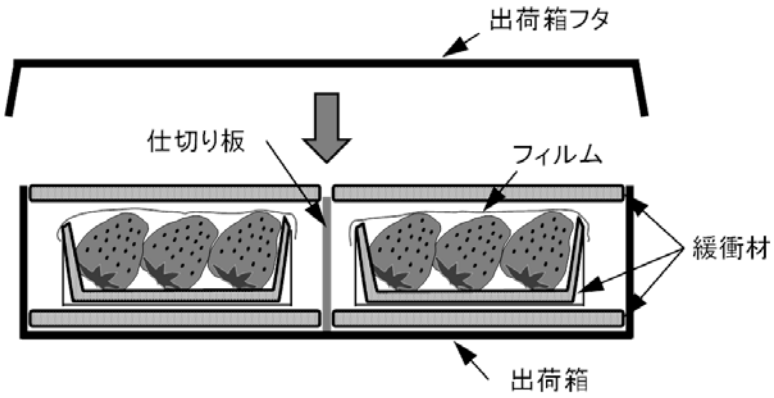
対照区のイチゴは、慣行の２段詰め包装のイチゴを２パック×２パックの計４パックを配置した出荷箱を５段重ねて、フタを載せて PP バンドで締めたものを供試した。出荷箱内に縦横の仕切り板があり、出荷箱内でパック同士が接触または移動することはなかった。個別包装容器は慣行の出荷箱と同程度の大きさの出荷箱（内寸：長さ 334㎜×幅 240㎜×高さ 81㎜）に６個×３個の計 18 個を並べて配置した。櫛形の仕切り板を試作し、長手方向に２枚、短手方向に１枚使用した。長手方向の仕切り板の溝部分に個別包装容器の端を収め、短手方向の仕切り板は個別包装容器の列中央に配置し、両者の仕切り板が互いに噛み合うように組み入れた。慣行の出荷形態と同様に出荷箱を５段重ねてフタをして PP バンドで締めて取り扱った（図８）。通常出荷と同様に集出荷場に運搬し、その後イチゴの集配送用トラック（最大積載量 4.1t、エアサスペンション車）にて輸送した。トラックによる輸送経路と所要時間は、通常の出荷時と同様であり、輸送距離は約 200km、所要時間は約６時間半であった。

イチゴ果実は輸送後、５℃に設定したプレハブ冷蔵庫内に保存し、到着当日、３日後、６日後に、果実の損傷を目視で判断した。損傷が見られないもの、もしくは損傷部位の長さが最大 4㎜以下の果実の個数割合を測定した。

(2)経由輸送試験

2013 年１月に、静岡県内の生産者の協力を得て、宅配便を利用した輸送試験を行った。対照区は、生産者の通常の包装形態である平詰め包装のイチゴとした。通常の出荷時と同様に、パックに緩衝材を敷き、イチゴを５、または６果配置（図９）し、フィルムで覆い包装した。パックを収容する出荷箱内にも緩衝材を敷き、平詰めしたパックを２パック×２パックの４パック並べ、各パックの上に緩衝材を載せ、出荷箱にフタをして、粘着テープで締めた（図 10)。なお、直輸送試験と同様に、出荷箱内に縦横の仕切り板が用いられており、出荷箱内でパック同士の接触や移動はなかった。

個別包装容器も直輸送試験と同様に、出荷箱内に６個×３個の計 18 個を並べて配置し、櫛形の仕切り板を利用した。また、対照区と同様に容器の上下に緩衝材を使用した。対照区、個別容器区ともに、生産者の通常の出荷形態と同様に１箱ずつの取扱いとして、宅配便の取次店へ依頼し、翌日、生研センターにて受け取った。



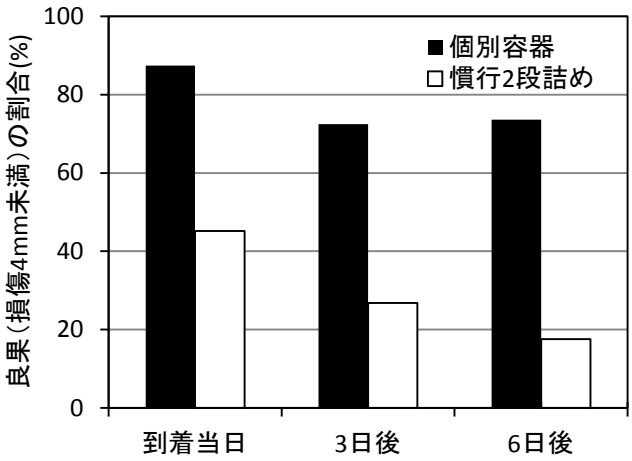
２）試験結果

(1) 直輸送試験

直輸送試験において、損傷 4㎜ 未満果実（以下、良果）の割合は個別容器区の方が、慣行区と比較して高かった（図 11)。また、個別容器区では輸送一週間後においても良果の割合は高く維持された。慣行区においては、輸送直後に視認されなかった微小な損傷に起因する劣化部位が、顕著となった一方で、個別容器区では、輸送による損傷そのものが抑制されたことが推察された。

表１　直輸送試験概要

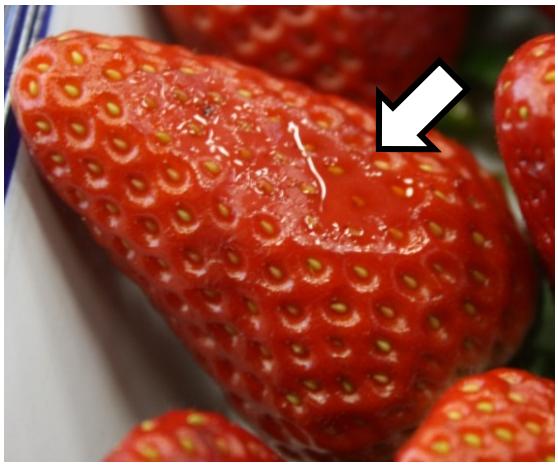
実施時期	2011年12月
供試品種	とちおとめ
供試数	個別包装容器：261果
	慣行包装：10パック
果重	25.3±5.4g
輸送距離	約200km
輸送に要した時間	約6時間半
輸送トラック	最大積載量4100kg、エアサス車
輸送時平均温湿度	7.5℃、71.3%
保存設定温度	5℃

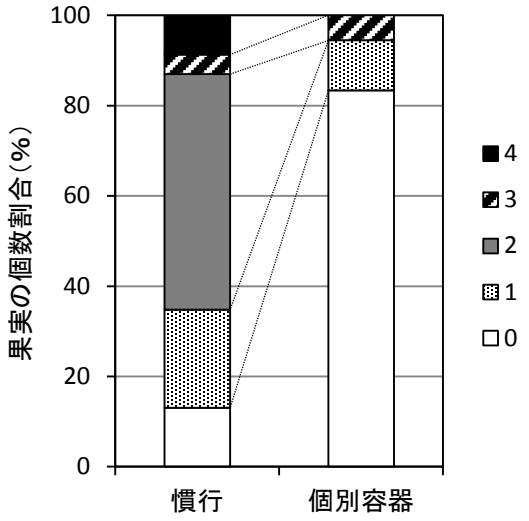


(2) 経由輸送試験

経由輸送試験では、直輸送試験と比較して大きな損傷が見られたため、損傷程度の測定基準を、果汁滲出が認められる損傷（図 12）1cm² 程度を１単位として、損傷程度を測定した。損傷の大きさに差が出た理由としては、経由輸送試験では、宅配便の中継基地を経由し、その度に輸送車両が変わり、荷の移替えが行われたことに起因すると考えられる。

損傷測定の結果、個別容器区では損傷程度０の果実が 15 個(83%)、損傷程度１の果実が２個(11%)あった（図 13)。また、果柄が容器把持部から外れている果実も１果見られ、損傷程度３であった。対照区では、損傷程度０の果実が 13%であり、個別包装容器は損傷発生割合を低減できることを確認した。つまり、個別包装容器は輸送による損傷発生を低減することができ、イチゴの品質保持に有用であることが明らかとなった。ただし、果柄が個別包装容器の把持部から外れた場合には、果実が固定されていないために、通常輸送と同等、もしくは同等以上の損傷を生じる可能性もある。そのため、個別包装容器の確実な果柄把持が重要である。





おわりに

イチゴの品質を低減しない包装容器として個別包装容器を開発した。本容器の利用により、イチゴの質量減少率、損傷発生割合を大幅に低減できることが明らかとなり、これまで輸送の難しかった大果なイチゴの流通等に貢献できる見通しが得られた。

個別包装容器に関する意見を聴取した結果、消費者からは、「試し買い、ギフト等によい」、「コンビニ、産直市場などで買いたい」、「(個別に売るには)価値の高いイチゴであるべき」等の意見が出され、流通関係者からは「アイディアは面白い」、「消費者に単価を比較されやすくなるため、販売方法に工夫がいる」、「特別なイチゴに利用すべき」等の意見が出された。また、輸送試験に協力していただいた生産者からは、「イチゴに触らずに輸送でき、損傷を生じない包装として期待できる」、「高価なイチゴを販売するのであれば、色などのデザインにもっと凝ってもよい」との意見が挙げられた。果肉の軟弱なイチゴ、高付加価値を持つイチゴを販売する手法として、多方面の方に興味を持って頂き、現在、実用化に向け、モニタ利用等に取り組んでいる。

なお、本研究は、平成21年度農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」に採択された「イチゴの光学的品質評価技術と工学的物流技術を融合したロバスト流通システムの開発」（主査機関：宇都宮大学）において実施した。課題の実施に当たっては、イチゴ生産者、JA、各県担当者の方々にご協力を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

１）施山紀男：日本のイチゴ、(株）養賢堂、2010.
２）財務省貿易統計：http://www.customs.go.jp/toukei/srch/index.htm?M=29&P=0
３）紺屋朋子、大森定夫:イチゴの品質保持技術に関する研究（第２報)、農機誌、70(4):76-82、2008.
４）北澤裕明、石川豊、中村宣貴、椎名武夫：イチゴ輸送中の損傷を防止する新たな包装形態、日本食品保蔵科学会誌、34(1):19-23、2008.
５）曽根一純： MA包装を用いた業務用イチゴの長期鮮度保持技術、今月の農業12月号、42-48、2008.
６）後藤昌弘、後藤隆子、茶珍和雄：100%CO_2処理がイチゴ果実の硬度および貯蔵性に及ぼす影響、日本食品保蔵科学会誌、24(3)、159-163、1998.
７）後藤（三船）隆子、後藤昌弘、茶珍和雄、岩田隆：高濃度CO2短期間処理がイチゴ果実の品質に及ぼす影響、日本食品科学工学会誌、42(3)、 30-36、1995.
８）曽根一純、沖村誠、溝添孝陽：八分着色イチゴ果実のMA包装と低温貯蔵を組み合せた鮮度保持技術、(独）農研機構九沖農研、研究成果情報、
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/karc/2007/konarc07-23.html.
2007.

農用トラクターの省エネルギー性能評価について

評価試験部　手島司、松尾陽介、高橋弘行、藤井桃子、
清水一史、西川純、滝元弘樹

はじめに ····· 86

１．省エネ性能の評価試験方法 ····· 86
　１）省エネ性能の指標 ····· 86
　２）対象トラクタと作業機 ····· 87
　３）機械条件および作業条件 ····· 87
　４）30a 耕うん燃費の推定方法 ····· 87
　５）30a 耕うん燃費推定方法における課題 ····· 88

２．ほ場試験および路上試験 ····· 88
　１）耕うん試験 ····· 88
　２）走行試験および旋回試験 ····· 90
　３）30a 耕うん燃費推定方法の検証 ····· 91

３．省エネ性能認証試験 ····· 91
　１）　試験実施方法の作成 ····· 91
　２）　平成 25 年度の省エネ性能認証試験実施状況 ····· 92

おわりに ····· 92

参考文献 ····· 93

はじめに

近年、温室効果ガスの排出量削減に寄与する省エネルギー（以下「省エネ」）型の機械や装置へのニーズが高まっており、省エネ性能を評価する手法が確立あるいは提案されている分野が多く存在する。その一方で乗用型トラクタ等農業機械の省エネ性能を型式間で比較し、客観的に評価する手法については確立されていない状況にあった。

こうした中、平成21～22年度に農林水産省補助事業として「農業機械省エネルギー性能評価方法確立事業」（以下「省エネ事業」）が実施され、社団法人日本農業機械化協会（当時）から「トラクター及び穀物乾燥機の省エネルギー性能評価試験方法及び情報提供方法」として報告が行われた[1)]。この事業の中で、生研センター評価試験部は省エネ性能評価試験の実施方法案の作成を主に担当したが、試験実施のための具体的な試験条件や試験実施基準の一部については、さらなるデータの蓄積と検討が必要と考えられた。

生研センターでは、平成23年度から３年間にわたって「トラクタ作業における燃料消費量等の評価手法に関する研究」を実施し、乗用型４輪トラクタによるロータリ耕うん作業時の燃費を省エネ性能の評価指標として型式間で比較できるように試験・測定する方法を作成した[2) 3) 4) 5)]。以下に試験方法について報告するが、作成した試験方法は一般社団法人日本農業機械化協会が平成25年度から開始した、機関出力 22～29kW(30～40PS)の乗用型４輪トラクタが対象の「農業機械の省エネ性能認証試験」の試験実施方法として採用されている。

１．省エネ性能の評価試験方法

１）省エネ性能の指標

省エネ性能の評価の中で用いる指標として、30a 区画（30m×100m）をロータリ耕うんした時の燃費（L/30a）を用いる。30a区画の耕うん作業は偶数行程の隣接耕うん（耕うん重複幅10cm）と行程端の180度旋回、隣接耕うんの後に行う３周の枕地耕うん(同15cm。外周から耕うんし、内側へと進む）と区画４隅における90度旋回から成り（図１）、30a 耕うん燃費（L/30a）はそれらの耕うん燃費や旋回燃費を全て足し合わせたものとなる。ただし、区画出入口から隣接耕うんの始点、枕地耕うんの終点から区画出入口までの移動燃費は含まないものとする。

隣接耕うん部分と枕地耕うん部分の重複幅（枕地耕うんの３周目）は耕幅の半分とし、隣接耕うんの行程数は、耕うん重複幅をこれらの条件通りとして耕うん作業を行った場合に「区画の短辺が30m以上となる最小の偶数」とする。耕うん面積は30a以上となるため、この時の燃費を30a換算して30a耕うん燃費（L/30a）を得る。

なお、90度旋回は図１のように、枕地耕うん後、次行程に入って作業機を位置合わせするための「後進（赤色破線）→90度旋回

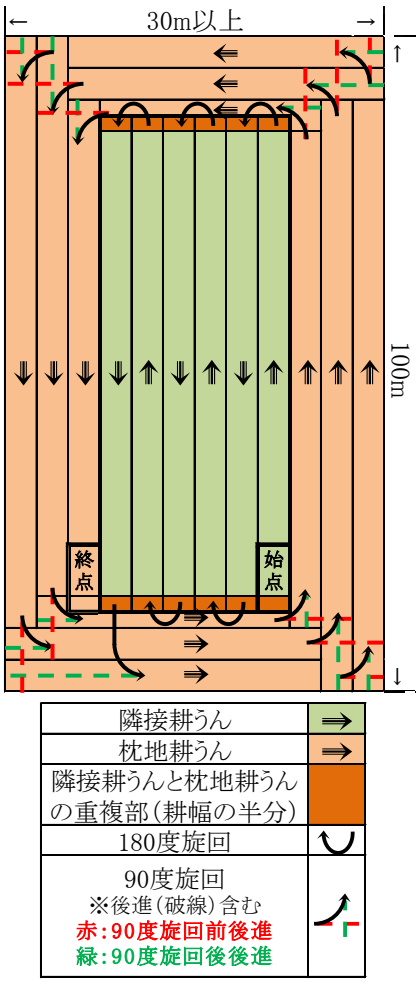


図１ ロータリ耕うん作業の流れ

→後進（緑色破線）」までを含む。後進距離は図１のように場所によって異なるが、本試験方法では簡単のため、枕地耕うん２周目の「２耕幅分後進→90 度旋回→２耕幅分後進」時の燃費と所要時間を 90 度旋回の代表値として使用することとする。

２）対象トラクタと作業機

本試験方法で対象としているのは、機関出力 22～29kW（30～40PS）の乗用型４輪トラクタと、同クラスのトラクタに標準装備される耕幅 1.7～1.8m のロータリ作業機である。この範囲の耕幅のロータリ作業機を用いて、重複幅や隣接耕うん行程数の条件等を考慮した場合の耕うん距離や耕うん面積、180 度旋回数等の計算例を表１に示す。

表１　耕うん距離・面積等の計算例

耕幅 (m)	隣接耕うん行程数(回)	耕うん距離(m)	耕うん面積(a)	旋回数(回)	
				180度	90度
1.70	14	2022.6	31.8	13	12（一定）
1.75	14	2023.3	32.8	13	
1.80	12	1820.4	30.4	11	

表２　耕うん燃費（L/h）の推定方法

	燃費(L/h)	PTO 回転	車輪 回転	補機類等作動
①	台上PTO負荷	○	×	○
②	$R_{走}$×路上走行	×	○	○
③	停止負荷	×	×	○
①+②−③	ほ場耕うん	○	○	○

図２　台上 PTO 負荷試験装置

３）機械条件および作業条件

耕うん時のトラクタ側の機械条件は、コンバイン収穫後の水田の最初の耕うん作業を想定し、スロットル開度全開（以下「フルスロットル」）、PTO 速度段は１速、耕うんピッチが 10～16cm 程度となる走行速度段を選択する。なお、180 度旋回や 90 度旋回時も走行速度段の変更は行わない。また、耕うん作業条件としては、耕深は 12cm 程度を目標として設定する。

４）30a 耕うん燃費の推定方法

上記１）～３）のように条件を設定し、実際に耕うん作業を行えば 30a 耕うん燃費を測定・算出できると考えられるが、実際のところ土壌条件が変わらないほ場を試験のたびに準備することは困難である。そこで、ほ場外の試験で再現性良く取得できる燃費データを基に 30a 耕うん燃費を推定する方法について以下のように検討を行った。

(1) 耕うん（隣接・枕地耕うん）燃費の推定方法

ほ場の耕うん作業時の燃費は表２のように、台上 PTO 負荷時の燃費、路上走行時の燃費および停止負荷時の燃費を用いて推定する。台上 PTO 負荷燃費は図２のように動力計により PTO 軸に一定の負荷を与えた時の燃費である。路上走行燃費は舗装路面上で走行した時の燃費であり（PTO 軸は停止状態）、これに路上燃費からほ場燃費に換算する係数 $R_{走}$ をかけた値を用いる。なお走行速度段は上述の通り、耕うんピッチが 10～16cm 程度となる段数を選択する。また、停止負荷燃費は PTO 軸および車輪が停止した状態における燃費である。

(2) 旋回（180 度・90 度旋回）燃費の推定方法

180 度旋回時の燃費は、走行燃費と同様にして、舗装路面上で 180 度旋回した時の燃費（走行速度段は同じ）に、路上燃費からほ場燃費に換算する係数 R_{180} をかけた値として推定する。90 度旋回時の燃費は舗装路面上で「２耕幅分後進→90 度旋回→２耕幅分後進」（図３）した時の燃費に係数 R_{90} をかけた値を用いる。

(3)30a 耕うん燃費の推定方法

30a 耕うん燃費（L/30a）は上記(1)のように推定した耕うん燃費（L/h)、上記(2)のように推定したほ場180度旋回とほ場90度旋回燃費(L/回)、耕うん時間（走行速度と耕うん距離から算出）および旋回数に基づき図４のように算出する。

５）30a 耕うん燃費推定方法における課題

本推定方法においては、その精度を確保する上で、以下の３つの課題が挙げられる。これら３つの課題について平成 23 年度からの研究の中で検討を行った。

①台上 PTO 負荷試験において PTO 軸にかける負荷を、どのように設定するか検討する必要がある。

②路上燃費からほ場燃費に換算する３つの係数（$R_{走}$、R_{180}、R_{90}）をどの程度にするか検討する必要がある。

③本方法による推定 30a 耕うん燃費にはどの程度の推定誤差が生じる可能性があるのか把握する必要がある。

２．ほ場試験および路上試験

30a 耕うん燃費推定方法における課題について検討を行うため、以下の試験等を行った。なお省エネ事業においては、対象トラクタの機関出力範囲を 22～29kW (30～40PS) としていたが、本研究では 30a 耕うん燃費推定方法の適応範囲拡大を目的に、対象機関出力範囲を 14～39kW（19～53PS）とした。

１）耕うん試験

(1)試験方法

耕うん時の PTO 負荷実測値に基づいて台上 PTO 負荷を決定するため、水稲収穫後の未耕起水田（土性：SiC）において耕うん作業を行った（図５)。供試トラクタは機関出力 14～39kW (19～53PS)、供試ロータリ作業機の耕幅

図３　路上 90 度旋回試験の様子

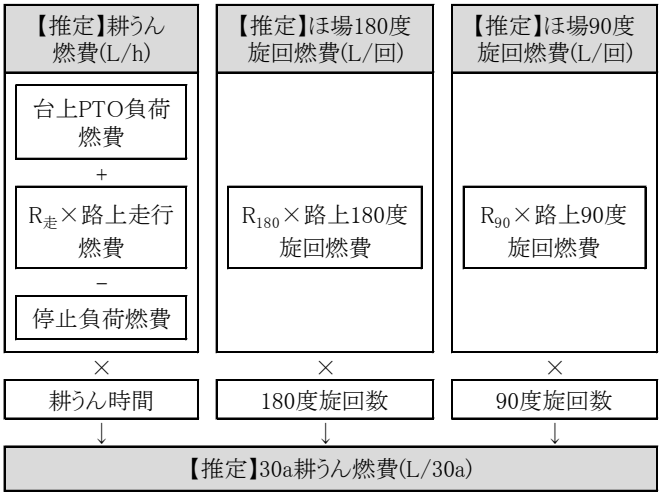


図４　30a 耕うん燃費の推定方法

図５　耕うん試験の様子

表３　供試トラクタ・ロータリと土壌条件

供試トラクタ		ロータリ	土壌条件(平均値)		
馬力級	機関出力(kW[PS])	耕幅(m)	含水比(%)	貫入抵抗(MPa)	大型矩形板沈下量(cm)
20PS	14 [19]	1.20	50	0.50	0.7
		1.30			
		1.40			
30PS	25 [34]	1.70	57	0.29	1.9
	23 [31]	1.72			
	25 [34]	1.80			
	27 [37]	1.80			
50PS	39 [53]	1.80	53	0.49	0.7
		2.00			
	39 [53]	2.02			

は 1.2～2.0m、ほ場の含水比は 50～57%（深さ 10cm までの平均）、貫入抵抗は 0.29～0.50MPa（深さ 15cm までの平均）、大型矩形板沈下量（50mm×100mm の矩形板を垂直荷重 490N で押下した時の沈下量）は 0.7～1.9cm であった（表３）。耕うん距離は 30m、測定項目は毎時燃費、PTO 軸トルクおよび回転速度、走行速度、耕深等とし、容積式燃料流量検出器（小野測器製、図６）、PTO 軸トルク・回転検出器（日計電測製、図７）を用いた。

耕うん時のトラクタ側の機械条件は、フルスロットル、PTO 速度段は１速（50PS 級トラクタでは１～２速）、耕うんピッチが 10～16cm 程度となる走行速度段を選択し、目標耕深を 12cm 程度とした。

図６　容積式燃料流量検出器

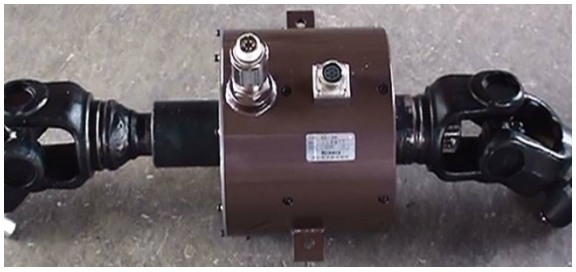


図７　PTO 軸トルク・回転検出器

(2)試験結果と台上 PTO 基準負荷

図８に、耕うん作業における耕幅 1m 当りの PTO 負荷（kW/m）と耕うんピッチとの関係を示す。20PS 級トラクタの PTO１速における耕幅 1m 当りの PTO 負荷は 5.5～8.1kW/m であった。また 30PS 級トラクタの PTO１速では 5.5～8.2kW/m、50PS 級トラクタの PTO１速では 5.2～10.5kW/m、PTO２速では 9.1～15.9kW/m であった。

これらの測定値を基に、耕うんピッチおよび耕深を説明変数、耕幅 1m 当りの耕うん時 PTO 負荷を目的変数として重回帰分析を行い、耕深を 12cm とした時の耕うんピッチに応じた耕幅 1m 当りの PTO 負荷（kW/m）に耕幅をかけたものを、台上 PTO 負荷試験装置で PTO 軸にかける基準負荷（kW）とした。その台上 PTO 基準負荷と耕うんピッチとの関係を図９に示す。なお図中の数字(1.2m～2.0m)は耕幅を表す。

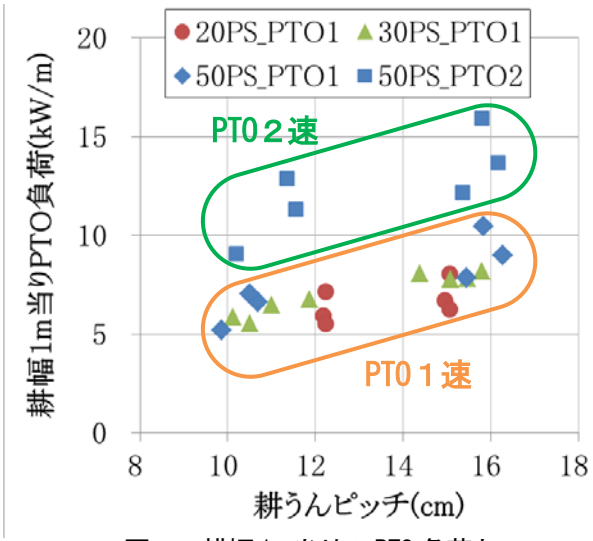


図８　耕幅 1m 当りの PTO 負荷と耕うんピッチとの関係

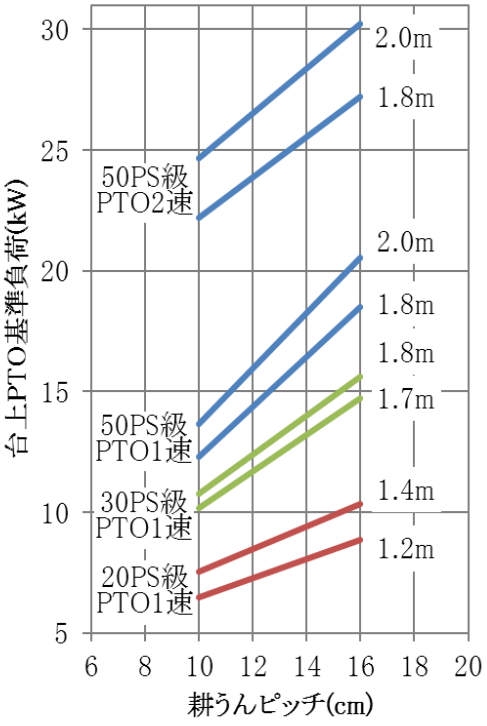


図９　耕幅ごとの台上 PTO 基準負荷（耕深 12cm の時）

2）走行試験および旋回試験

(1)試験方法

ほ場走行時および路上走行時の燃費実測値や、ほ場旋回時および路上旋回時の燃費実測値に基づき、路上燃費からほ場燃費に換算する３つの係数（$R_{走}$、R_{180}、R_{90}）を決定するため、水稲収穫後の未耕起水田（土性：SiC）および舗装路面上で、走行、180 度旋回および 90 度旋回試験を行った（図３、図 10）。

供試トラクタは機関出力 14～39kW（19～53PS）、試験時の装着ロータリの耕幅は 1.4～2.0m、ほ場の含水比は 50～58%（深さ 10cm までの平均）、貫入抵抗は 0.24～0.54MPa（深さ 15cm までの平均）、大型矩形板沈下量は 0.7～2.1cm であった（表４）。

図 10　ほ場 90 度旋回試験の様子

表４　供試トラクタ・ロータリと土壌条件

供試トラクタ		ロータリ	土壌条件(平均値)		
馬力級	機関出力(kW[PS])	耕幅(m)	含水比(%)	貫入抵抗(MPa)	大型矩形板沈下量(cm)
20PS	14 [19]	1.40	50	0.54	1.3
30PS	25 [34]	1.70	58	0.24	2.1
	23 [31]	1.72			
	25 [34]	1.80			
	27 [37]	1.80			
50PS	39 [53]	2.00	53	0.47	0.7
	39 [53]	2.02			

走行試験における走行距離は 30m、90 度旋回試験は「２耕幅分後進→90 度旋回→２耕幅分後進」とし、測定項目は毎時燃費、走行速度、旋回時間等とした。トラクタ側の機械条件は、フルスロットル、走行速度段は耕うん時と同じ速度段を選択、旋回試験時の PTO 速度段は１速（50PS 級トラクタでは１～２速）、走行試験では PTO 軸を回転させずに行った。

(2)試験結果

路上燃費とほ場燃費の測定結果を図 11（走行）、図 12（180 度旋回）、図 13（90 度旋回）に示す。路上燃費に対するほ場燃費の比の平均値は、20PS 級トラクタで $R_{走}$=1.07、R_{180}=1.07、R_{90}=1.01、30PS 級トラクタで $R_{走}$=1.08、R_{180}=1.08、R_{90}=1.07、50PS 級トラクタで $R_{走}$=1.06、R_{180}=1.06、R_{90}=1.03 であり、$R_{走}$と R_{180} は同程度、R_{90} が最小という同様の傾向が見られた（表５）。

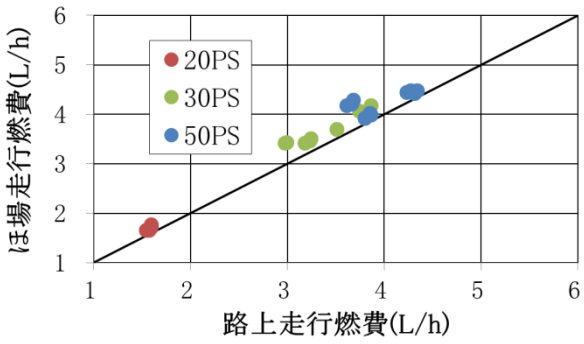


図 11　路上燃費とほ場燃費の関係（走行試験）

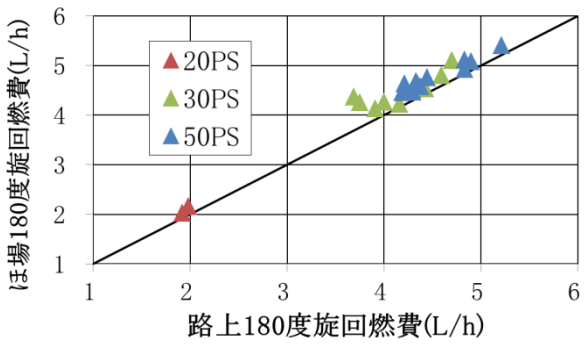


図 12　路上燃費とほ場燃費の関係（180 度旋回試験）

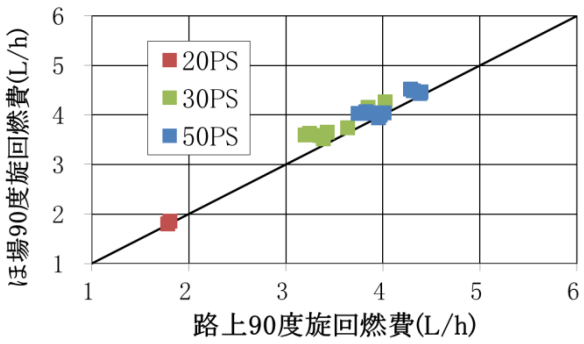


図 13　路上燃費とほ場燃費の関係（90 度旋回試験）

3）30a 耕うん燃費推定方法の検証

本方法による推定 30a 耕うん燃費にはどの程度の推定誤差が生じる可能性があるのかを把握するため、また本推定方法が適用可能な馬力級の範囲について検討するため、２．１）で行った耕うん試験および２．２）で行ったほ場旋回試験で得られた燃費等から算出した 30a 耕うん燃費（表６のα）と、２．１）で行った耕うん試験時の実測 PTO 負荷（kW）を台上 PTO 負荷試験装置で与えた時の台上 PTO 負荷燃費、２．２）で行った路上走行試験および路上旋回試験で得られた燃費、そして表５の換算係数等から算出した推定 30a 耕うん燃費（表６のβ）との差を計算した。

表５　路上燃費からほ場燃費への換算係数

供試トラクタ		ロータリ	ほ場燃費/路上燃費の平均値(換算係数)		
馬力級	型式数	耕幅(m)	走行:$R_{走}$	180度旋回:R_{180}	90度旋回:R_{90}
20PS	1	1.4	1.07	1.07	1.01
30PS	4	1.7～1.8	1.08	1.08	1.07
50PS	2	2.0	1.06	1.06	1.03

αとβの差は 50PS 級トラクタで-0.5～2.3%、30PS 級トラクタで-4.0～-3.2%と良好に推定できており、本推定方法は 30～50PS 級トラクタに適用可能であると考えられたが、20PS 級トラクタでは-8.5%程度と差が大きくなったため、本推定方法を 20PS 級トラクタに適用するにはさらなる検討が必要と考えられた。

表６　30a 耕うん燃費推定結果

トラクタ馬力級	型式数	PTO段	耕幅	耕うんピッチ	走行速度	耕うん時間	【測定結果】ほ場作業燃費				【推定結果】ほ場作業燃費				差 *3
							耕うん	180度旋回	90度旋回	α:30a耕うん*1	耕うん	180度旋回	90度旋回	β:30a耕うん*2	
			m	cm	m/s	h	L/h	L/回	L/回	L	L/h	L/回	L/回	L	%
20PS	1	1	1.2～1.4	12.2	0.37	2.0	3.94	0.01	0.01	7.74	3.59	0.01	0.01	7.06	-8.6
				15.0	0.45	1.6	4.32	0.01	0.01	7.02	3.94	0.01	0.01	6.43	-8.4
30PS	4	1	1.7～1.8	10.9	0.34	1.6	6.40	0.02	0.03	10.21	6.12	0.02	0.03	9.79	-4.0
				15.2	0.48	1.1	7.03	0.02	0.03	8.08	6.79	0.02	0.03	7.81	-3.2
50PS	2	1	1.8～2.0	10.4	0.32	1.4	6.95	0.03	0.04	10.36	6.94	0.03	0.05	10.37	0.1
				15.9	0.50	0.9	8.16	0.02	0.03	7.90	8.24	0.02	0.03	7.98	1.0
		2		11.0	0.48	0.9	9.24	0.02	0.03	9.08	9.18	0.02	0.03	9.03	-0.5
				15.8	0.69	0.7	10.40	0.01	0.03	7.17	10.64	0.01	0.03	7.33	2.3

注）数字は各型式・耕幅における測定値および推定値を、速度区(耕うんピッチ)ごとに平均したもの
*1 耕うん燃費やほ場旋回燃費を用いた 30a 耕うん燃費　*2 本方法により推定した 30a 耕うん燃費
*3 ほ場実測燃費を用いたαと推定したβとの差:(β－α)/α

３．省エネ性能認証試験

１）試験実施方法の作成

一般社団法人日本農業機械化協会が主体となり、機関出力 22～29kW（30～40PS）の乗用型４輪トラクタが対象の「農業機械の省エネ性能認証試験」が平成 25 年度から開始されることとなった。

そこで、平成 22 年度の省エネ事業の中で作成した省エネ性能評価試験の実施方法案に対して、PTO 台上基準負荷や換算係数等の数値基準を加えた試験実施方法を作成した。表７は機関出力 22～29kW（30～40PS）のトラクタ用の台上 PTO 基準負荷（フルスロットル時）であり、図９の 30PS（PTO１速）の基準負荷を表にしたものである。また図 14 は試験実施方法より抜粋した路上旋回試

表７　台上 PTO 基準負荷（22～29kW（30～40PS）用）

台上PTO基準負荷(kW)						
耕うんピッチ(cm)	標準耕幅(cm)					
	170	172	174	176	178	180
10.0	10.2	10.3	10.4	10.5	10.7	10.8
…	…	…	(省略)	…	…	…
14.0	13.2	13.4	13.5	13.7	13.8	14.0
14.2	13.4	13.5	13.7	13.8	14.0	14.1
14.4	13.5	13.7	13.8	14.0	14.1	14.3
14.6	13.7	13.8	14.0	14.1	14.3	14.5
14.8	13.8	14.0	14.1	14.3	14.5	14.6
15.0	14.0	14.1	14.3	14.4	14.6	14.8
15.2	14.1	14.3	14.4	14.6	14.8	14.9
15.4	14.3	14.4	14.6	14.8	14.9	15.1
15.6	14.4	14.6	14.7	14.9	15.1	15.3
15.8	14.6	14.7	14.9	15.1	15.2	15.4
16.0	14.7	14.9	15.1	15.2	15.4	15.6

験方法であり、180 度旋回では「作業機上昇開始→180 度旋回→作業機下降終了」までの燃費（L/回）、90 度旋回では「作業機上昇開始→２耕幅分後進→90 度旋回→２耕幅分後進→作業機下降終了」（図 14（右）の②～⑤）までの燃費（L/回）を測定する。

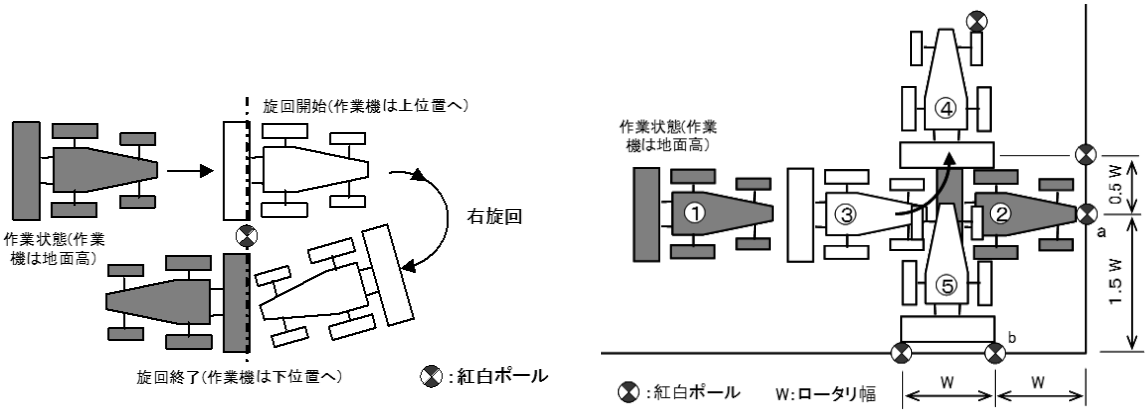


図 14　路上 180 度旋回（左）および路上 90 度旋回（右）の試験方法

本方法により測定・算出を行う省エネ性能の指標は、これまで説明してきた 30a 耕うん燃費（フルスロットル、PTO１速）を含む以下の３つの燃費である。

(1) フルスロットル、PTO１速における推定 30a 耕うん燃費（単位：L/30a。水稲収穫後未耕起水田での重負荷作業を想定）

(2) パートスロットル、PTO２速における推定 30a 耕うん燃費（単位：L/30a。軽負荷作業を想定。機関回転速度はフルスロットルの７割程度）

(3) パートスロットル、最高速度段による道路走行燃費（単位：km/L。機関回転速度はフルスロットルの７割程度。作業機を外した状態で燃費を測定する）

２）平成 25 年度の省エネ性能認証試験実施状況

平成 25 年度は、国内メーカー４社４型式の乗用型トラクタを供試して省エネ性能認証試験を実施し、上記(1)～(3)の燃費の測定および算出を行った。供試トラクタの機関出力は 22～27kW（30～36PS）、供試ロータリ作業機の耕幅は 1.7～1.8m であった（表８）。

表８　供試トラクタ・ロータリ

供試トラクタ		ロータリ
馬力級	機関出力 (kW[PS])	耕幅(m)
30PS	22 [30]	1.72
	25 [34]	1.70
	26 [35]	1.70
	27 [36]	1.80

おわりに

本研究は、平成 21～22 年度に実施された「農業機械省エネルギー性能評価方法確立事業」で検討したトラクタの省エネ性能評価試験の実施方法案について、台上 PTO 基準負荷や路上燃費からほ場燃費への換算係数等の数値基準をほ場実測値等を基に決定することによって、評価試験方法を確立することを目的としたものである。現在のところ、本方法が採用されている「農業機械の省エネ性能認証試験」の対象は機関出力 22～29kW（30～40PS）の乗用型４輪トラクタであるが、50PS 級トラクタへの本方法の適応可能性が今回示された。なお、20PS 級トラクタの試験方法や、近年増加傾向にあるセミクローラトラクタなどへの対応については、新たな研究課題を立ち上げて、今後検討を行っていく予定である。

参考文献

1）社団法人日本農業機械化協会：トラクター及び穀物乾燥機の省エネルギー性能評価試験方法及び情報提供方法、2011

2）生研センター：平成 23 年度事業報告、2012

3）手島司ら：トラクタ作業における燃料消費量等の評価手法に関する研究、農業環境工学関連学会 2012 年合同大会講演要旨、CD-ROM、2012

4）生研センター：平成 24 年度事業報告、2013

5）生研センター：平成 25 年度事業報告、2014

穀物乾燥機の省エネルギー性能評価について

評価試験部　　土師健、高橋弘行、松尾陽介、山﨑裕文、堀尾光広、原田泰弘、
冨田宗樹（現畜産工学研究部）
生産システム研究部　　日高靖之、野田崇啓、横江未央（現中央農業総合研究センター）

はじめに ····· 96

１．ねらい ····· 96

２．試験方法 ····· 96
　１）測定項目 ····· 97
　２）供試機 ····· 98
　３）供試材料 ····· 99

３．評価方法 ····· 99
　１）籾水分による評価区間の設定 ····· 99
　２）雰囲気温湿度への対応 ····· 99

４．結果 ····· 100

おわりに ····· 102

参考文献 ····· 102

はじめに

温室効果ガスによる地球温暖化や化石燃料の有限性といった社会的な問題や、化石燃料、電気代の値上がりといった問題等から、様々な分野で省エネルギー化の要望は強い。自動車や家電製品では、それぞれ定められた評価試験方法にしたがって測定が行われ、○○km/L、○○kWh/年といった省エネルギー性能の目安となる数値が表示され､ユーザーが購入する際の有益な情報の１つとなっている。

農業機械においては、近年までこうした省エネルギー性能の目安となる数値を測定・表示できる評価試験方法は確立されていなかったが、平成 21、22 年度に農林水産省の補助事業において社団法人日本農業機械化協会（当時）が主体となって 30PS（22kw）級の乗用型トラクターと 10t 以下の穀物乾燥機を対象に検討された[1)]。生研センターでは、この中で、省エネルギー性能の目安となる数値が得られる評価試験方法の作成に協力し、平成 23 年度からは生研センターの研究課題として評価試験方法の確立に取り組んできた[2) 3)]。平成 25 年度から一般社団法人日本農業機械化協会が実施する「農業機械の省エネルギー性能認証表示制度」の評価試験方法として提案し､一部修正ののち採用された。本稿では、穀物乾燥機の評価試験方法について紹介する。

１．ねらい

穀物乾燥機（以下、乾燥機）の省エネルギー性能の目安となる数値を、籾に含まれる水分 1kg を蒸発させるのに必要なエネルギー（MJ/kg）（以下、所要エネルギー）と定義し、消費エネルギー（熱エネルギー＋電気エネルギー）を蒸発水量で除算することにより求めることとした。型式間の比較試験を行う際には、同一条件の材料、環境下で実施されるべきであり、それらを満たすためには、供試籾を人工的なものへの置き換えや、空調設備により温度を任意に調整可能な場所に設置する必要があるが、現実的ではない。そこで本研究では、乾燥開始から自動停止するまでの全区間の所要エネルギーはそれぞれ異なっても、籾水分によるエネルギーの評価区間を設け、また、試験実施日の条件に従って補正することにより、ある一定の所要エネルギー値が得られる方法を目指した（図１）。

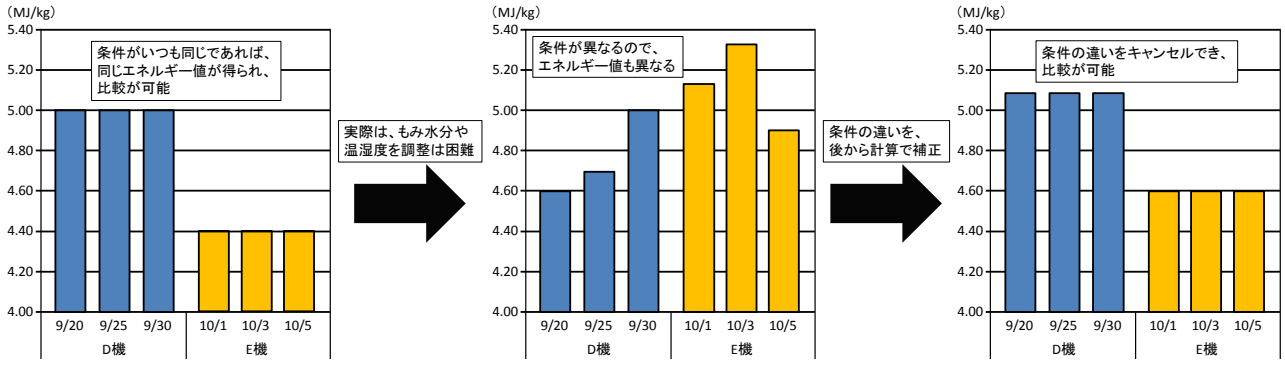


図１　エネルギー補正のイメージ

２．試験方法

試験方法の作成にあたって、自脱型コンバインで収穫した籾を用いて実際に乾燥試験を行った。乾

燥機には満量張り込み、乾燥モードは「標準（ふつう）」、乾燥停止水分は 15%w.b.以下に設定し、乾燥機に装備された自動水分検出・乾燥停止装置によって自動的に運転停止するまでとした。籾質量、灯油消費量、消費電力量、雰囲気温湿度、籾水分等の測定項目を設定し、所要エネルギーの算出・補正に必要なデータを測定した。

1）測定項目

（1）籾質量

乾燥機の４隅にロードセル（KYOWA 製、LCTS-B-10kN）を設置し、経時的に測定した。出力電圧をデータロガー（グラフテック製、GL820）にサンプリング間隔５秒で記録した。

（2）灯油消費量

灯油タンクをロードセル式の質量計（A&D 製、SB100K12-JA）に載せ、灯油タンクの質量変化を経時的に測定することにより求めた。出力電圧をデータロガー（グラフテック製、GL820）にサンプリング間隔５秒で記録した。

（3）雰囲気温湿度

乾燥機の空気取入口から前方 1.5m、高さ 1.2m の位置を雰囲気測定点とし、温湿度発信器（CHINO 製、R220-30）を設置し、乾球・湿球温度を経時的に測定した。データロガー（グラフテック製、GL820）にサンプリング間隔５秒で記録し、JIS Z8806「湿度－測定方法」に基づき、計算により相対湿度、絶対湿度を求めた。

（4）消費電力量

クランプ電力計（YOKOGAWA 製、CW120）を乾燥機の電源コード入力側に設置し、経時的に測定した。

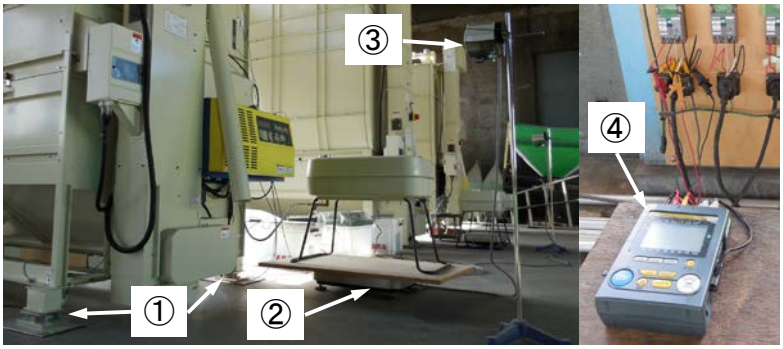


図２　乾燥試験における測定例

（5）籾水分

乾燥機内へ張り込む時、乾燥機外へ排出する時に、最初を除き一定間隔で籾サンプルを 20 回採取し（図３）、１回分の籾サンプルから１検体 10.0～10.5g の範囲で電子天秤（島津製作所製、UW620H）を用いて量り取り、無作為に 2 検体作成した。２（検体／回）×20（回）、合計 40 検体は、定温乾燥機（アドバンテック製、FC410 または DRX420DA）を用いて 10g

全粒－135℃－24 時間法により測定し、5g 粉砕－105℃－５時間法に換算した。

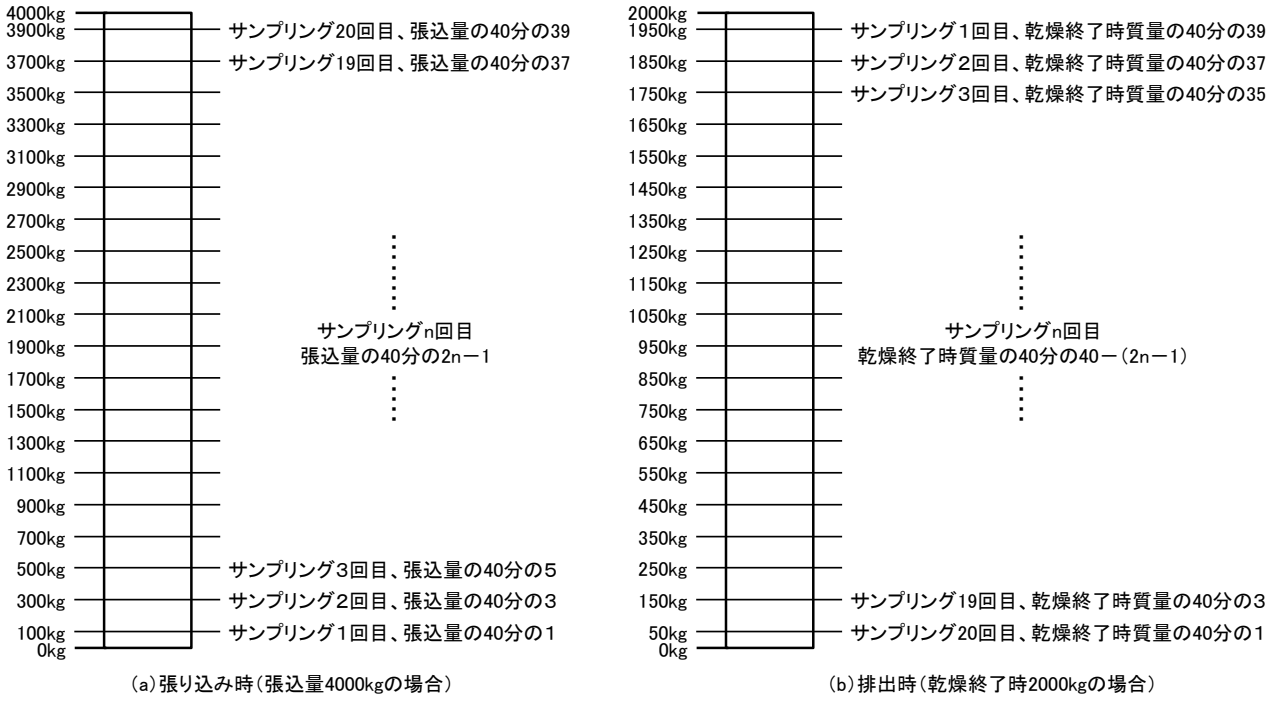


図３　サンプリングの例

（６）その他

上記の測定項目以外に、籾の胴割率、容積重、損傷粒の増加割合、夾雑物割合等、籾の性状についても（５）で採取したサンプルの一部を用いて調査・確認した。

２）供試機

熱風式乾燥機２台（A 機、B 機とする）と遠赤外線熱風併用方式１台（C 機とする）を用いた。主要諸元を表１に示す。

表１　供試機の主要諸元（メーカーHP より抜粋）

		単位	A 機	B 機	C 機
乾燥方式		—	熱風式		遠赤外線熱風併用式
籾の処理量（560kg/m³時）		kg	300～2100		300～2000
バーナー	形式	—	ガンタイプ（噴霧式）		
	燃焼量	L/h	1.0～3.5		1.0～5.0
送風機	形式	—	遠心式		遠心式ターボ
	常用回転数	rpm	1720±50		
電源		相・V	３・200		

3）供試材料

生研センターの附属農場で栽培された「彩のかがやき」を自脱型コンバインで試験日当日に収穫し、供試した。

3．評価方法

乾燥試験を行った結果について、全区間の所要エネルギーがばらつく原因として、乾燥する籾水分の範囲と乾燥中の雰囲気温湿度が試験実施日の状況により異なることが挙げられる。その理由として、乾燥する籾水分の範囲については、籾水分が低くなるに従って籾に含まれる水を蒸発させるのに必要なエネルギーが大きくなることが明らかにされており[4)]、雰囲気温湿度については、雰囲気空気をバーナーで加熱する構造であるため、熱風温度が雰囲気空気によらず一定であるとすれば、雰囲気空気が低温や高湿度であればより多くのエネルギーが必要となることは明白である。そこで、それらの問題を解決するため、以下の対応を行うこととした。

1）籾水分による評価区間範囲の設定

消費エネルギーの評価区間を設定することにより、籾に含まれる水を蒸発させるのに必要なエネルギーの条件を揃えることを試みた。供試籾は一般的な収穫時期の籾水分と考えられる 23～26%w.b.程度のものを想定し、消費エネルギーの評価区間は、乾燥機内の籾水分のばらつきをならすこと、できるだけ広い範囲を確保すること等から 22～15%w.b.と設定した。22%w.b.、15%w.b.となる時刻は、乾燥試験中に正確な籾水分を測定することができないため、乾燥終了時の籾質量と籾水分から絶乾質量を算出し、22%w.b.時、15%w.b.時の籾質量を推定し、測定した籾質量の時系列データと照合し求めた（図４）。

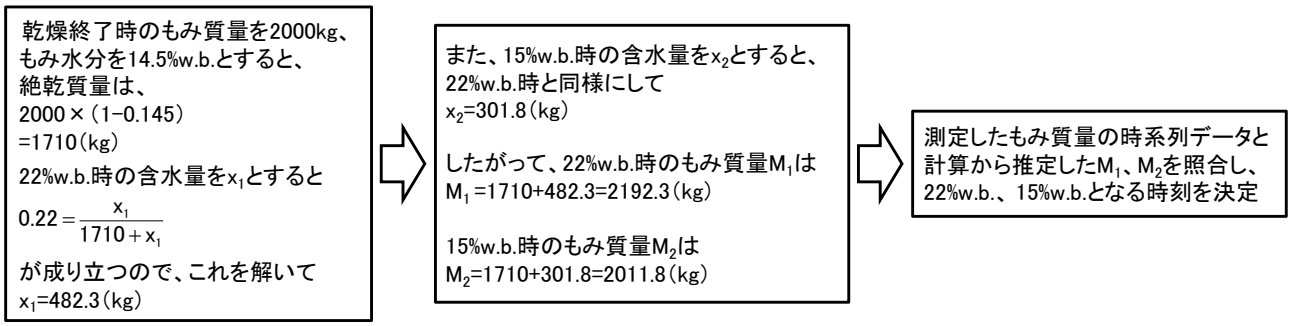


図４　22%w.b.、15%w.b.となる時刻の推定方法

2）雰囲気温湿度への対応

乾燥試験の雰囲気温湿度の高低を判断するためには、基準となる温湿度が必要であるため、その基準となる雰囲気空気を 20℃、相対湿度 65%（以下、標準状態）と設定した。標準状態と試験時の雰囲気温湿度の差に基づく、サンプリング間隔ごとの補正エネルギーΔE は、標準状態の空気が推定熱風温度まで上昇するのに必要な熱エネルギーと、実際の消費熱エネルギーとの差とし、評価区間の補正エネルギーはΔE を積算することにより求めた（図５）。推定熱風温度は、乾球・

湿球温度、単位時間あたりの灯油消費量、乾燥風量（設計値）から求めた（図６）。

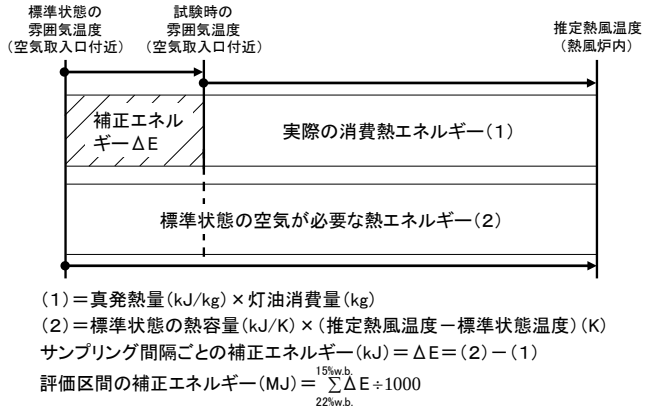


図５　補正エネルギー算出方法

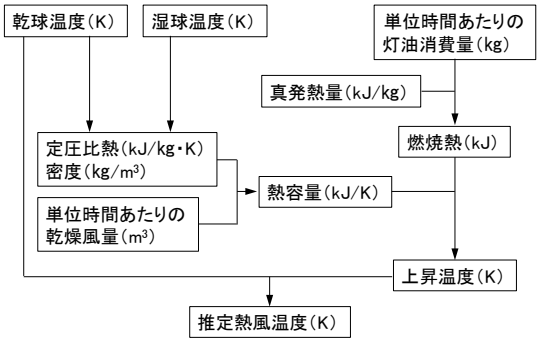


図６　推定熱風温度の算出方法

４．結果

乾燥試験の消費エネルギーは灯油消費量と真発熱量および消費電力量から、蒸発水量は籾質量の変化から求め、補正エネルギーは３．２）に基づいて求め、各所要エネルギーを算出した（図７）。籾質量と灯油消費量を求めるための灯油タンク質量は乾燥機の振動等により値が変動するため、ある時間を中心として前後５分間のデータで移動平均により平滑化した（図８）。乾燥前後の籾水分を表２、乾燥試験と所要エネルギー計算の結果を表３に示す。乾燥開始から自動停止までの全区間を対象とした所要エネルギーは、その変動率がＡ機 14.4%、Ｂ機 19.0%、Ｃ機 15.4%と大きかったが、所要エネルギーの評価区間の設定と補正を行った結果、変動率はＡ機 2.5%、Ｂ機 3.2%、Ｃ機 2.3%と小さくなり、評価試験方法として妥当と考えられた。

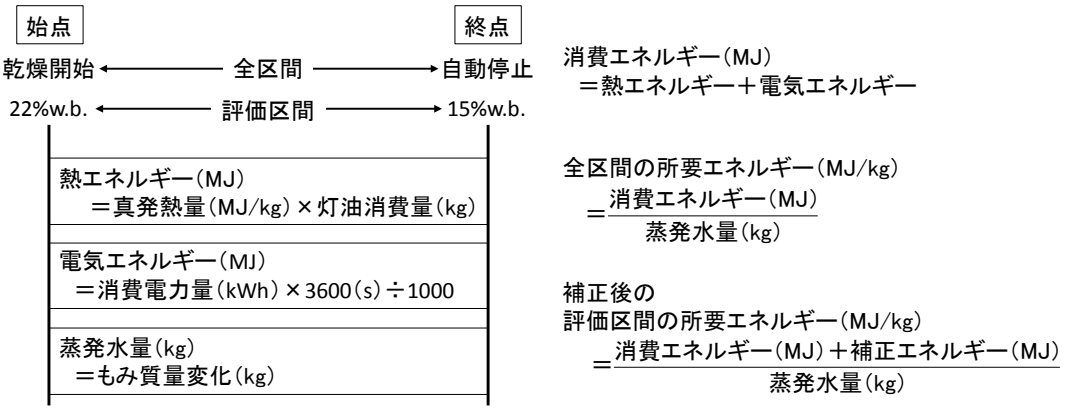


図７　所要エネルギーの算出方法

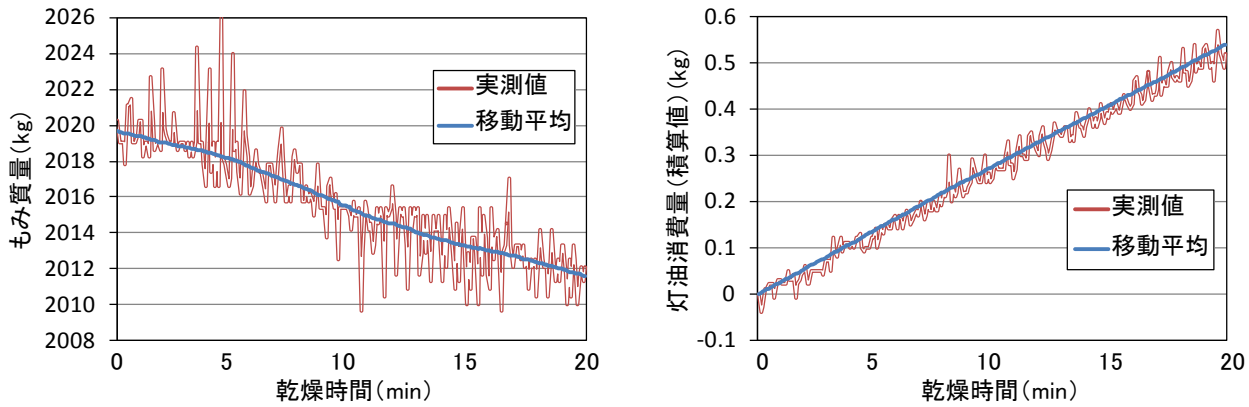


図８　籾質量と灯油消費量の実測値と移動平均の一例

表２　乾燥前後の籾水分の測定結果

	試験 No.	試験日		籾水分（%w.b.）（平均値±標準偏差）	
		年	月/日	乾燥前	乾燥後
A 機	1	2011	10/12	24.6±0.29	12.3±0.11
	2		10/17	24.2±1.06	12.9±0.15
	3		10/19	23.2±0.25	13.8±0.11
B 機	4	2011	10/12	25.0±0.44	12.5±0.13
	5		10/17	25.0±0.23	12.5±0.10
	6		10/19	22.8±0.31	13.8±0.13
	7	2012	10/9	26.3±0.25	12.1±0.16
	8		10/15	22.8±0.36	13.5±0.19
	9	2013	10/23	23.9±0.15	13.1±0.12
C 機	10	2012	10/9	26.4±0.17	12.4±0.10
	11		10/15	22.7±0.33	13.9±0.20
	12	2013	10/23	24.1±0.17	13.5±0.09

表３　乾燥試験と所要エネルギー算出の結果

	試験No.	平均気温（℃）		平均乾燥速度（%w.b./h）		所要エネルギー（MJ/kg）		変動率（%）	
		全区間	評価区間	全区間	評価区間	全区間補正無	評価区間補正実施	全区間補正無	評価区間補正実施
A機	1	24.0	23.7	0.73	0.80	4.23	4.84	14.4	2.5
	2	24.4	24.4	0.75	0.83	4.29	4.91		
	3	20.0	20.0	0.78	0.84	4.84	4.79		
B機	4	23.8	23.4	0.71	0.71	4.20	4.83	19.0	3.2
	5	24.1	24.0	0.74	0.77	4.15	4.79		
	6	19.8	19.9	0.71	0.75	4.82	4.74		
	7	22.7	22.2	0.72	0.73	4.38	4.88		
	8	24.7	24.7	0.76	0.79	4.18	4.85		
	9	19.1	19.1	0.73	0.78	4.94	4.73		
C機	10	22.8	22.8	0.81	0.85	4.42	4.89	18.6	2.3
	11	25.3	25.4	1.03	1.07	4.17	4.78		
	12	19.5	19.6	0.95	1.04	4.95	4.84		

おわりに

本研究では、23～26%w.b.程度の籾を供試して乾燥試験を行い、型式間で比較が可能な所要エネルギーの算出・補正方法を検討した。エネルギーの評価区間を籾水分範囲により設定し、得られたエネルギー値を雰囲気条件の違いに基づいて補正することにより、ばらつきが小さくなり型式間で比較が可能な所要エネルギーを算出できる評価試験方法を確立できた。今後の課題として、供試籾水分が今回の範囲から外れた場合の対応等が挙げられ、さらなるデータの蓄積が必要と考える。

参考文献

１）社団法人日本農業機械化協会：トラクター及び穀物乾燥機の省エネルギー性能評価試験方法及び情報提供手法、2011

２）生研センター：平成 23 年度事業報告、2012

３）生研センター：平成 24 年度事業報告、2013

４）村田敏ら：穀物水分蒸発潜熱の計算式について－平衡含水率の測定と解析－、農業機械学会誌 50（３）,85 - 93. 1988

本報告の取扱いについて

本報告の全部又は一部を無断で転載・複製（コピー）することを禁じます。
転載・複製に当たっては、原著者の許諾を得て下さい。

問い合わせ先：
生研センター　企画部　機械化情報課
TEL:　048-654-7030
FAX:　048-654-7130
または
info-iam-jouhouka@ml.affrc.go.jp

平成 25 年度　生研センター研究報告会
頒価 1,806 円（本体価格 1,720 円＋消費税 5%）

独立行政法人　農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農　業　機　械　化　研　究　所

〒331-8537　埼玉県さいたま市北区日進町 1-40-2
Tel. 048-654-7000（代）

印刷・発刊　平成 26 年 3 月 13 日